



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Logistiikka kiertotalouden ratkaisuisa

Pasi Rönkkö

TUOTANTOTALOUS

Diplomityö

Huhtikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Logistiikka kiertotalouden ratkaisuisissa

Pasi Rönkkö

Oulun yliopisto, Tuotantotalouden maisteriohjelma

Diplomityö 2020, 94 s. + 3 liitettä

Työn ohjaajat yliopistolla: DI Tero Leppänen; Tutkimusprofessori Pekka Tervonen

Kiertotalous on verrattain uusi ja nopeasti levinnyt ilmiö, jonka kantavana ajatuksena on kestävä kehitys; nyky-yhteiskunnan kehitys ei voi enää kovin kauaa perustua luonnonvarojen kestäättömään kulutukseen. Resursseja tulisi hyödyntää kestävästi siten, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän, ja jos sitä syntyy, se voidaan käyttää uudelleen hyväksi. Tämänkaltaisen ajattelu on siirtymässä laajasti myös yrityksille siten, että valmistusprosesseissa syntyviä jätteitä ja tuotannon sivuvirtoja voidaan hyödyntää raaka-aineina muissa teollisuuden prosesseissa.

Tässä diplomityössä keskitytään tutkimaan yritysten näkökulmaa kiertotalouden ratkaisujen toteuttamisessa, sekä näihin olennaisesti liittyviä yritysekosysteemejä ja logistiikkaa. Varsinkin logistiikka on hyvin merkittävässä asemassa kiertotaloudellisissa ratkaisuisissa, sillä kustannusten lisäksi kuljetukset synnyttävät erilaisia päästöjä, joiden vuoksi kiertotalouden avulla saavutettavat suurimmat hyödyt voidaan menettää. Tavoitteena oli selvittää, kuinka nykyisin ongelmajätteeksi miellettyä maalisakkaa voitaisiin hyödyntää raaka-aineena muissa teollisuuden prosesseissa ja kuinka siitä saataisiin kannattavaa ottaen huomioon varsinkin logistiikkaan liittyvät seikat.

Pohja tutkimukselle rakennettiin kirjallisuuskatsauksen ja case-esimerkkien kautta. Nykytilan kartoittaminen ja muu empiirinen tutkimus suoritettiin palaverien, työpajojen, sekä vapaamuotoisten haastattelujen avulla. Lisäksi käytettiin määrämuotoista kyselylomaketta maalisakkaprosessien kartoitukseen. Tärkeimmät tulokset liittyivät havaintoihin suhteellisen ohuista ja hajanaisista logistisista materiaalivirroista kiertotaloudellisten ratkaisujen yhteydessä.

Asiasanat: Kiertotalous, logistiikka, yritysekosysteemi, maalisakka, sivuvirta, resurssitehokkuus

ABSTRACT

Logistics in circular economy solutions

Pasi Rönkkö

University of Oulu, Master's Programme in Industrial Engineering and Management

Master's thesis 2020, 94 pp. + 3 Appendices

Supervisors at the university: M.Sc. (Tech.) Tero Leppänen; Research professor Pekka Tervonen

Circular economy is a relatively new and quickly spread phenomenon, which is based on a sustainable development; the development of a modern society cannot be longer based on unsustainable consumption of natural resources. Resources should be used on a sustainable manner so that waste is generated as little as possible, but if waste is generated, it can be re-used. This type of thinking is shifting also widely towards companies so, that waste and side streams of manufacturing processes can be used as raw materials in other industrial processes.

This master's thesis is targeted to study company perspective of implementing circular economy solutions, as well as business ecosystems and logistics, which are closely related to circular economy. Especially logistics has a significant role in circular economy solutions, because besides of costs, transportations generate a variety of emissions, which may lead to a loss of the greatest benefits achieved by circular economy. The goal was to solve how paint sludge could be utilized in other industrial processes, and how this could become profitable, taking especially issues related to logistics into account.

Basis for the study was built by literature review and case-examples. Current state analysis and other empirical research were performed by meetings, workshops, and unstructured interviews. Structural questionnaire was used as well. The most important results were related to observations of relatively narrow and fragmented logistical material flows in circular economy solutions.

Keywords: Circular economy, logistics, business ecosystem, paint sludge, side stream, resource efficiency

ALKUSANAT

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää vesipohjaisia maaleja käyttävien yritysten maalausprosessien nykytila Suomessa, sekä voitaisiinko maalausprosesseissa syntyvää, ongelmajätteenä luokiteltavaa maalisakkaa hyödyntää esimerkiksi raaka-aineena muissa tuotteissa kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Työssä keskityttiin tarkastelemaan varsinkin logistiikkaa prosessien taustalla, sillä tämän oletettiin olevan merkittävä tekijä uusien, kiertotaloudellisten toimintamallien toteutettavuuden kannalta. Työ toteutettiin pääasiassa joulukuun 2019 ja huhtikuun 2020 välisenä aikana.

Esitän erityiset kiitokset ohjaajilleni DI Tero Leppäselle sekä tutkimusprofessori Pekka Tervoselle, jotka myös antoivat minulle tämän mielenkiintoisen diplomityöaiheen. Aihe ei ollut aivan helpoimmasta päästä, mutta ei sen pitänyt ollakaan. Itse asiassa työn tekeminen oli hyvinkin palkitsevaa, sillä sain yhdistellä tässä työssä aiempia logistiikkainsinöörin opintojani ja alalta kertynyttä työkokemusta, sekä uutta tuotantotaloudellista osaamista. Tämän diplomityön aihe herätti myös mielenkiintoni kiertotaloutta ja sen tuomia mahdollisuuksia kohtaan.

Kiitoksensa saa myös perheeni, joka on tukenut minua niin opintojeni, kuin myös urakehitykseni ylä- ja alamäissä. Lisäksi haluan kiittää erittäin paljon Jyväskylän ammattikorkeakoulussa kanssani vuosina 2013–2016 opiskelleita entisiä opiskelukavereitani, jotka palauttivat mieleeni keskeisimpiä logistiikan oppeja ja tarjosivat minulle näkemyksiään käytännön logistiikan pelikentältä eri toimintoihin liittyen. Kiitos teille, *me hallitaan yhdessä koko Suomen logistiikkaskeneä ;)*

Oulu, 28.04.2020

Pasi Rönkkö

Pasi Rönkkö

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	7
1.1 Tutkimuksen rajaus ja tavoitteet	9
1.2 Tutkimusprosessi ja metodit	10
2 Kirjallisuuskatsaus	12
2.1 Kiertotalous	12
2.1.1 Kiertotalouden taloudellinen merkitys ja hyödyt	14
2.1.2 Kiertotalouteen siirtymisen haasteet ja riskit.....	15
2.1.3 Kiertotalouden ratkaisujen yhteenveto ja toteutumisen vaatimukset	16
2.1.4 Kiertotalous vs. lineaarinen talous.....	18
2.2 Jäte ja ongelmajäte	20
2.2.1 Jätelait ja asetukset	20
2.2.2 Jätehuolto kiertotalouden mallissa.....	21
2.3 Yritysekosysteemi	23
2.3.1 Yritysekosysteemi kiertotalouden kannalta	24
2.4 Arvonluonti asiakkaalle kilpailuedun luomiseksi	25
2.4.1 Arvoketju	25
2.4.2 Liiketoimintamallit	28
2.4.3 Liiketoimintastrategiat	29
2.4.4 Liiketoimintatapa-analyysi	32
2.5 Logistiikka & toimitus- ja arvoketjut	33
2.5.1 Logistiikan taloudellinen merkitys ja ongelmat	34
2.5.2 Logistiikan kokonaiskustannukset.....	35
2.5.3 Logistiikan optimointi	37
2.5.4 Logistiikka ja kiertotalous	38
2.6 Kirjallisuuskatsauksen synteesi.....	39
3 Case-esimerkkien tarkastelu.....	40
3.1 Case 1: Metsä Fibren Biotuotetehdas.....	40
3.2 Case 2: SER-kierrätys	41
3.3 Case 3: Endevin lietteenpolttolaitos	42
3.4 Case 4: Merikontteja huoltava yritys	43
3.5 Case 5: Kattohuovan kierrättäminen uusiobitumiksi	44
3.6 Case 6: Terästehtaiden kuona-aineiden hyödyntäminen	45
3.7 Case-esimerkkien yhteenveto.....	46

3.8 Case-esimerkkien synteesi	49
4 Maalisakan synty ja uusi elämä.....	50
4.1 Tutkimuksen taustat	51
4.2 Maalit ja maalisakka	53
4.2.1 Maalin koostumus.....	53
4.2.2 Maaliliete ja maalisakka	54
4.2.3 Maalisakan käsittely nykytilanteessa.....	54
4.3 Maalisakkaprosessien nykytila Suomessa.....	55
4.3.1 Rajoitteet ja esteet maalisakan hyödynnettävyydelle	56
4.3.2 Maalisakan jalostamispaikan sijoittaminen	57
4.4 Maalisakan logistiikka ja arvoketjut	58
4.4.1 Kuljetuskustannukset.....	58
4.4.2 Kuljetusten aiheuttamat päästöt.....	59
4.4.3 Maalisakan varastointi	61
4.4.4 Maalisakan jalostamisen arvoketjun kuvaus	62
4.5 Maalisakan potentiaaliset hyödyntämiskohteet.....	63
4.5.1 Eri käyttökohteet kirjallisuudessa.....	63
4.5.2 Vaihtoehtoisten hyödyntämiskohteiden alustava vertailu	64
5 Tutkimustulokset.....	67
5.1 Komponenttien erottelu maalisakasta	67
5.2 Maalisakka kemiallisten katalyyttien tukiaineena	70
5.3 Maalisakan yhteispoltto sementtiuunissa.....	71
5.4 Maalisakka uusien maalien pohja-aineena.....	72
5.5 Yhteiset tekijät	74
5.5.1 Eri vaihtoehtojen logistiset ongelmat	74
5.5.2 Mahdollisia vaihtoehtoja kuljetukselle ja varastoinnille	74
5.5.3 Maalisakan taloudellinen merkitys ja vaihtoehtoiskustannukset.....	77
5.6 Empirian synteesi	78
6 Pohdinta ja johtopäätökset	79
6.1 Tutkimuksen arviointi	84
6.2 Mahdolliset tulevat tutkimuskohteet.....	86
LÄHDELUETTELO	87

LIITTEET:

Liite 1. Maalisakkanäytteiden XRF-analyysien tulokset

Liite 2. Kuljetuskustannusten laskennan perusteet

Liite 3. Maalisakkaprosessien nykytilankartoituslomake

1 JOHDANTO

Ilmasto muuttuu, länsimaalaiset ihmiset käyttävät resursseja yli maapallon kantokyvyn, muovipussit saastuttavat valtameriä ja maapallon hiilinielut katoavat teollisuuden tarpeita varten hakattujen metsien myötä. Muun muassa nämä asiat ovat olleet viime aikoina runsaasti esillä herättäen globaalia keskustelua yksilöiden ja yritysten toiminnasta ja tämän toiminnan kestävyydestä. Ihmisistä on tullut yhä valveutuneempia kuluttajia, jotka ajattelevat toimiensa vaikutuksia ympäristöön. Kaukana ovat ajat, jolloin rikkinäiset kodinkoneet kärrättiin kaatopaikalle tai pahimmissa tapauksissa hylättiin metsän reunaan ajatuksella ”poissa silmistä, poissa mielestä”. Kaukana ollaan kuitenkin myös niistä ajoista, jolloin rikkinäiset kodinkoneet ja muu kodinelektroniikka korjattiin, sillä nykyisin tämä voi tulla kalliimmaksi kuin uuden tuotteen ostaminen. Nämä asiat ovat kuitenkin todennäköisesti muuttumassa kiertotalouden myötä jo lähitulevaisuudessa. Kiertotalous voidaan nähdä eräänä potentiaalisena ratkaisuna kaikkiin edellä esitettyihin, kuin myös moniin muihin haasteisiin (Bocken et al 2015, s. 308).

Kiertotalouden perusideana on luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen siten, että taloudessa jo olevia materiaaleja käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Tuotantoprosessit ja niissä syntyvät tuotteet suunnitellaan jo lähtökohtaisesti siten, että hukkaa syntyy mahdollisimman vähän. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotannon sivuvirrat pyritään käyttämään mahdollisimman tehokkaasti hyväksi ja tuotteiden elinkaarista muodostetaan pitkiä. (Euroopan komissio 2015, s. 2) Samalla voidaan säästää energiaa ja vähentää kasvihuonekaasujen muodostusta (Stahel 2016, s. 436–437). Osaltaan kiertotalous on ympäristöteko, mutta yritykset ja yhteiskunnat voivat saavuttaa myös taloudellista hyötyä hyödyntämällä jo olemassa olevaa materiaalia tehokkaammin. Kiertotaloutta voidaan mahdollisesti hyödyntää yritysten kilpailukyvyn vahvistamiseen. (Aarikka-Stenroos 2019; Sitra 2016, s. 9)

Kiertotalouden kenties näkyvimmästä osasta, kierrätyksestä, on tullut nyky-yhteiskunnassa yhä kasvava ilmiö, joka näkyy jokapäiväisessä elämässämme esimerkiksi siten, että kotitalousjätteen lajittelun mahdollisuudet ovat kasvaneet; kaikkea jätettä ei enää heitetä yhteen isoon astiaan, jonka sisältö viedään kokonaisuudessaan kaatopaikalle mätänemään, tai pahimmissa tapauksissa pysyväksi osaksi maaperää, vaan erilaiset materiaalit lajitellaan uusiokäyttöä varten jo jätteenkeruun yhteydessä. Itseasiassa nykyaikainen kotitalousjätteen käsittely toimii siten, ettei juuri mitään tarvitsisi heittää

hukkaan, vaan metalli, muovi ja lasi voidaan hyödyntää raaka-aineeksi muihin tuotteisiin ja biojätteestä voidaan valmistaa biokaasua tai -polttoaineita. Niin sanottu sekajätekin voidaan polttaa, jolloin jäte muutetaan energiaksi ja polttamisen seurauksena syntyvät kuona-aineet voidaan käyttää esimerkiksi maanparannukseen. Edellä mainitulle kodinelektroniikan kierrättämisellekin on olemassa tehokkaat kanavat, jonka vuoksi esimerkiksi vanha televisio tai matkapuhelin voidaan kierrättää uusien, vastaavan kaltaisten tuotteiden raaka-aineiksi.

Tavallisen elämisen sijasta huomattavimmat jätemäärät ja tuotannon sivuvirrat syntyvät kuitenkin yrityksissä teollisten tuotantoprosessien, kaivostoiminnan ja rakentamisen seurauksena (Tilastokeskus 2018). Kaiken syntyvän materiaalin, eli myös jätteiden ja tuotannon sivuvirtojen, hyödyntäminen tehokkaasti voi tuoda yrityksille kilpailuetua sen lisäksi, että teko on ympäristöystävällinen.

Tässä työssä tutkittiin vesipohjaisten maalisakkojen hyödyntämistä raaka-aineena kiertotalouden periaatteiden mukaisesti ja selvitettiin, voisiko niiden kierrättäminen olla kannattavaa esimerkiksi joitakin kemianteollisuuden prosesseja varten, tai voitaisiinko näitä käyttää sellaisenaan hyväksi. Maalisakka on teollisuusmaalaamoiden maalausprosessien yhteydessä syntyvää ainesta, joka sisältää runsaasti erilaisia raaka-aineita ja harvinaisempia yhdisteitä, kuten titaanidioksidia ja bariumia. Nykytilanteessa maalisakka mielletään ongelmajätteeksi, jonka hävittäminen jätteenkäsittelylaitoksissa maksaa yrityksille jopa 1,2 €/kg. Varsinkin Suomessa yleinen hävittämiskeino maalisakalle on loppusijoittaminen kaatopaikalle, mutta myös polttamista käytetään jonkin verran. Polttamalla maalisakan tilavuutta voidaan pienentää, mutta jäljelle jäävät kuona-aineet ovat vielä loppusijoituksen vaatimaa jätettä. Kumpaa tahansa hävittämiskeinoa käytetäänkin, alkuperäisen tuotteen synnyttämiseen käytetyt resurssit on menetetty hävittämisen yhteydessä.

Eräänä koko tutkimushankkeen ja tämän diplomityön kantavana ideana olikin selvittää, voisiko tästä yrityksille kustannuksia aiheuttavasta ongelmajätteestä tulla jo lähitulevaisuudessa raaka-ainetta joko maalteollisuuden, tai kenties jonkin kokonaan toisen teollisuudenalan käyttöön. Tämän diplomityön aiheen, *”Logistiikka kiertotalouden ratkaisuihin”*, mukaisesti työssä otetaan laajasti kantaa myös toiminnan taustalla vaikuttavaan logistiikkaan sekä siitä aiheutuviin kustannuksiin ja mahdollisiin rajoitteisiin.

1.1 Tutkimuksen rajausta ja tavoitteet

Tämä työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta, case-esimerkeistä, sekä tutkimuksen pääosassa olevasta empiriaosuudesta. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on luoda selkeä kokonaiskuva kiertotaloudesta globaalina käsitteenä sekä sen merkityksestä yrityksille ja yhteiskunnalle. Mukana on myös teoriaa tutkimuksen kannalta relevanteista käsitteistä ja ilmiöistä. Tutkimuksessa esitettävien case-esimerkkien tarkoituksena on hahmotella kiertotalouden ja yritysekosysteemien toteutumisen nykytila sekä selvittää, millaisia voisivat olla haasteet näiden toteuttamiseksi. Tätä varten pyrittiin löytämään mahdollisimman monipuolisesti esimerkkejä erilaisista toteutuksista, joissa kiertotalouden ja yritysekosysteemien ratkaisut ovat vahvasti mukana. Työn aiheen mukaisesti pyrittiin lisäksi hahmotella, millaisia logistiikkaratkaisuja näihin liittyy ja mitkä ovat olleet niiden haasteet. Tutkimuksen empiriaosuus on rajattu käsittelemään maalisakankäsittelyprosesseja Suomessa ottaen mukaan logistiikkaan liittyvät näkökulmat haasteineen ja mahdollisuuksineen. Tutkimuksen päällimmäisinä tavoitteina on hahmotella globaalisti skaalautuva malli maalisakan hyödyntämiselle kiertotalouden periaatteiden mukaisesti sekä synnyttää uutta tietoa kiertotalouden ja yritysekosysteemien ratkaisujen tueksi. Tutkimusta helpottamaan ja ohjailemaan muodostettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

Tutkimuskysymys 1: Mitä hyötyjä yrityksille ja yhteiskunnalle on kiertotalouteen siirtymisestä?

Tutkimuskysymys 2: Mitkä ovat suurimmat haasteet kiertotalouden toteuttamisessa?

Tutkimuskysymys 3: Mikä on logistiikan rooli kiertotalouden ratkaisujen toteutumisessa?

Tutkimuskysymykseen 1 haetaan vastauksia tutkimalla laajasti kirjallisuutta kiertotaloudesta ja yritysekosysteemeistä sekä niiden ratkaisusta globaalisti, eli vastaus pyritään synnyttämään kirjallisuuskatsauksen yhteydessä. Yritysekosysteemit ovat merkittävässä osassa kiertotaloudellisissa ratkaisuissa sivuvirtojen hyödyntämisen vuoksi, jonka vuoksi myös niihin on syytä perehtyä. Kysymykseen 2 haetaan vastausta erilaisten kiertotalouteen, yritysekosysteemiin ja kestäviin tuotantomenetelmiin liittyvien case-esimerkkien kautta. Tutkimuskysymys 3 on tämän työn suurin anti, jonka lähtökohdat ovat koko tämän tutkimuksen pohjana ja johon pyritään löytämään vastaus varsinaisen tapaustutkimuksen, case-esimerkkien, sekä kirjallisuuden kautta.

1.2 Tutkimusprosessi ja metodit

Tutkimus toteutettiin kokonaisuudessaan case-, eli tapaustutkimuksena, eli siinä perehdytään tarkemmin yhteen tapaukseen. Tapaustutkimuksissa käytetään tyypillisesti useita erilaisia kvalitatiivisia menetelmiä tiedon hankkimiseksi. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi havainnoinnit ja epämuodolliset haastattelut. Tutkimusmenetelmiä ei ole tosin rajoitettu pelkästään kvalitatiivisiin menetelmiin, vaan myös kvantitatiivisia menetelmiä voidaan käyttää. (Bryman & Bell 2007, s. 62–63)

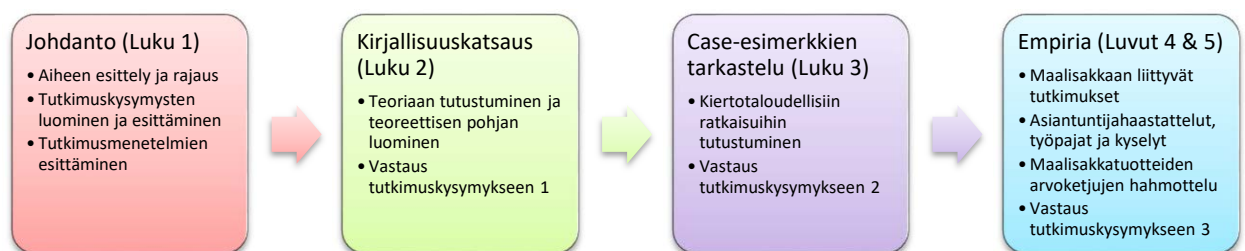
Tässä tutkimuksessa tapauksena oli maalisakan hyödyntäminen kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Tähän liittyi yritysten maalausprosessien ja maalisakankäsittelyn nykytilan kartoittaminen, sekä uusien, kiertotaloudellisten toimintamallien ja –tuotteiden hahmotteleminen ja ideointi eri sidosryhmien kanssa. Empiiristä tutkimusta varten tietoa kerättiin ensisijaisesti epämuodollisten haastattelujen avulla erityisesti palaverissa ja työpajoissa, joihin osallistui useita eri alojen asiantuntijoita. Myös määrämuotoista kyselylomaketta käytettiin vertailukelpoisten tulosten keräämiseksi (ks. Liite 3). Lomakkeessa käsiteltiin erityisesti maalisakan syntymääriä, sekä laatuun, käsittelyyn, ja logistiikkaan liittyviä seikkoja. Yritysvierailuja ei suoritettu tutkimuksen aikana vallinneen koronavirusepidemian vuoksi.

Tutkimus on luonteeltaan enemmän kvalitatiivinen kuin kvantitatiivinen, sillä ilmiötä tarkastellaan pääasiassa muuten kuin lukujen avulla. Joitakin laskelmia tosin tehtiin tukemaan muutamia väitteitä, kuten maalisakan kuljettamisen kustannuksia ja kuljetuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä, sekä maalisakan hyödyntämisen potentiaalisia tuottoja ja kustannuksia. Näiden karkeiden laskelmien avulla pyrittiin selvittämään erilaisten vaihtoehtojen mahdollinen liiketoimintapotentiaali. Tutkimusta voidaan pitää tapaustutkimuksena, koska siinä keskitytään kiertotalouden, yritysekosysteemien ja logistiikan muodostaman kokonaisuuden laajempaan analysointiin sen sijaan, että pääpaino olisi esimerkiksi pelkästään maalisakan hyödyntämisessä, jolloin kyseessä olisi tutkimus (study). (Evans et al. 2014, s. 86–87) Tutkimusalue on siis huomattavan laaja ja tuloksia voidaan soveltaa vastaaviin kiertotaloudellisiin tutkimuksiin ja toteutuksiin.

Tapaustutkimus maalisakasta luo tutkijalle ja tutkimukselle empiirisen pohjan tämänkaltaisten asioiden toiminnasta käytännön tasolla fokusoiden tutkimusta oikeisiin

asioihin. Vaikka maalisakan logistiikka- ja arvoketjujen hahmottaminen loi tutkimuksen rungon, kyseinen tapaus oltiin myös valmiina jättämään pelkästään yhdeksi tapaukseksi muiden case-esimerkkien joukkoon, jos se olisi tutkimuksen edetessä osoittautunut täysin mahdottomaksi ajatukseksi.

Tutkimuksessa lähdetään liikkeelle laajasta kirjallisuuskatsauksesta, jonka tarkoituksena on selvittää erityisesti kiertotalouden ja yritysekosysteemien periaatteita. Lisäksi käsitellään työn aiheeseen vahvasti liittyviä logistiikkaa, toimitusketjuja ja arvoketjuja, sekä liiketoimintamalleja ja -strategioita. Koska tutkimuksessa käsitellään jätteen hyödyntämistä raaka-aineena, käsitellään myös jätteeseen liittyviä seikkoja, kuten mitä on jäte, mikä on sen merkitys teollisuuden prosesseissa ja kuinka se linkittyy kiertotalouteen. Työssä esitetään myös case-esimerkkejä erilaisista, jo olemassa olevista kiertotalouden, yritysekosysteemien, sekä kestävämpien valmistusmenetelmien ratkaisuksista. Näitä tapauksia benchmarkataan varsinaiseen tutkimukseen. Benchmarking, suomennettuna vertailujohtaminen, vertailukehittäminen, esikuva-analyysi, tai vertailuanalyysi, tarkoittaa siis esimerkiksi yrityksen, organisaation, tai minkä tahansa vastaavan toimijan prosessien kehittämistä vertailemalla niitä toiminnoissaan hyvin suoriutuvien, mahdollisesti parhaiden toimijoiden prosesseihin (Cambridge 2020). Huomattavaa on, että vertailtavan ja vertaavan organisaation ei tarvitse toimia samalla toimialalla. Tutkimusprosessin eteneminen vaiheittain on esitetty kuvassa 1.



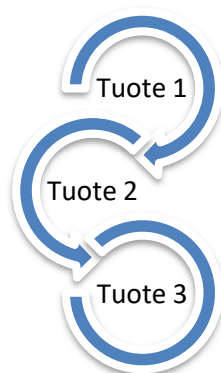
Kuva 1. Tutkimuksen eteneminen vaiheittain.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tässä osiossa perehdytään kirjallisuuden kautta työssä käsiteltäviin keskeisiin teemoihin ja luodaan teoreettinen pohja tutkimusta varten. Työn keskeisimmät teemat kiertotalous, yritysekosysteemit ja logistiikka käsitellään laajasti.

2.1 Kiertotalous

Kiertotalous on teollisuustalouden malli, jossa materiaalit ja raaka-aineet kiertävät kehämäisesti tuotteen elinkaaren ajan siten, että elinkaarensa loppupäässä tuote kokonaisuudessaan tai sen raaka-aineet kierrätetään ja kierrätetyt materiaalit palaavat vastaavan, tai jonkin toisen tuotteen raaka-aineiksi (ks. Kuva 2). Kiertotaloudessa tuotteiden, resurssien ja materiaalien arvo säilyy taloudessa mahdollisimman kauan ja jätteen syntyminen minimoidaan. Osaltaan tähän kuuluu niin sanottu jätteen poissuunnittelu, jossa esimerkiksi tuotantoprosessit ja tuotteiden pakkaukset suunnitellaan siten, että hukkaa syntyy mahdollisimman vähän. Jätteen ja tuotannon sivuvirtojen minimoimisen lisäksi niiden arvo pyritään maksimoimaan. Lisäksi uusiutuvia resursseja pyritään käyttämään aina kun mahdollista. (Euroopan komissio 2015, s. 2)



Kuva 2. Kiertotalouden karkea prosessi.

Kiertotalouden ideaalimallissa ei synny lainkaan päästöjä tai hävikkiä, ja materiaalit kiertävät siten, että ravinteet ajautuvat takaisin biosfääriin ja toisaalta tuotteiden valmistuksessa käytetyt materiaalit, kuten metallit eivät ajaudu koskaan takaisin biosfääriin (Berg 2016, s. 2). Kiertotaloudessa onkin tunnistettavissa kaksi erilaista

pääkiertoa, teknologinen kierto ja biologinen kierto (Bocken et al. 2015, s. 308). Kiertotalouden tuotannollisissa ideaaliprosesseissa kaikki prosessien sivuvirrat suunnitellaan hyödynnettäväksi siten, ettei mitään mene prosessien ulkopuolelle. Kiertotalouden periaatteisiin kuuluukin systeemiajattelu, jossa ei suoriteta pelkästään yksittäisten toimintojen osaoptimointia, vaan koko prosessi vuorovaikutussuhteineen otetaan huomioon (Berg 2016, s.2). Aarikka-Stenroosin (2019) mukaan tuotannon ylijäämän ja hukan vähentämisessä keskeisessä osassa ovat teolliset symbioosit. Stahelin (2016, s. 436) sanoin kiertotaloutta voidaan verrata järveen, jossa materiaalit kiertävät lähes suljetusti, ja ratkaisuisa hyödynnetään tehokkaasti ”kehdestä kehtoon” -ajattelua, jossa toisen jäte on toisen raaka-ainetta. Tiivistetysti voidaan sanoa, että onnistuneessa kiertotalouden prosessissa materiaalivirtoja pyritään sulkemaan, hidastamaan ja kaventamaan koko prosessin, ja siinä syntyvien tuotteiden elinkaarien aikana (Bocken et al. 2016, s. 309).

Kiertotalous perustuu ajatukselle, ettei talouden kilpailukyky ja hyvinvointi voi perustua luonnonvarojen tuhlailevalle käytölle (Sitra 2016, s. 9). Euroopan komission (2015, s. 2) mukaan kiertotaloudellisilla ratkaisuilla voidaan edistää EU:n kilpailukykyä suojaamalla yrityksiä resurssiniukkuudelta ja hintojen vaihteluilta, sekä mahdollistamalla uusia innovatiivisia tapoja tuottaa ja kuluttaa.

Kiertotalouden periaatteet varsinkin kulutuksen näkökulmasta voitaisiin tiivistää seuraaviin sanoihin: ”käytä uudelleen mitä voit, kierrätä mitä et voi käyttää uudelleen, korjaa se, mikä on rikki ja valmista uudelleen se, mitä ei voi korjata” (Stahel 2016, s. 435). Lähtökohtina kiertotalouden mallilla valmistettaville tuotteille voidaan siis pitää sitä, että tuotteet suunnitellaan jo lähtökohtaisesti helposti kierrätettäviksi, uudelleenkäytettäviksi, purettaviksi ja uudelleenvalmistettaviksi. Tällä voitaisiin korvata perinteinen lineaarinen malli ”ota, tee, käytä ja hävitä”, joka on ollut hallitsevana käytänteenä taloudessa vuosikymmenten ajan näihin päiviin asti. Wijkmanin & Skånbergin (2015, s. 5) mukaan maapallon resurssien rajallisuuden vuoksi lineaarisesta mallista tulisi pyrkiä pois kohti kestävämpiä ratkaisuja, sillä luonnon ekosysteemit kärsivät ennen pitkää lineaarisesta mallista kulutuksen kasvaessa ilmaston saastumisen ja kasvavien jätemäärien aiheuttaessa uhkia hyvinvoinnille. Esimerkiksi Wijkmanin ja Skånbergin (2015, s. 10) mukaan ihmisten ekologinen jalanjälki on kasvanut siten, että maapallolta kestäisi 1,5 vuotta korvata ihmisten vuoden aikana kuluttamat luonnonvarat.

Jos kaikki maailman ihmiset eläisivät yhtä tuhlailevasti kuin esimerkiksi yhdysvaltalaiset, tarvittaisiin neljä maapalloa täyttämään kulutuksen tarpeet.

2.1.1 Kiertotalouden taloudellinen merkitys ja hyödyt

Euroopan komissio (2015, s. 2) on määritellyt kiertotalouden olevan keskeinen osa kehitettäessä Euroopan Unionia kohti kestävyyttä, vähähiilisyyttä, resurssitehokkuutta ja kilpailukykyisyyttä. Tähän liittyen useat Euroopan Unioniin jäsenvaltiot ovat luoneet valtakunnallisia suunnitelmia kiertotalouteen siirtymiseksi. Näihin kuuluu myös Suomi, joka oli ensimmäinen maa maailmassa, joka valmisti kansallisen tiekartan matkalle kohti kiertotaloutta. Kiertotalouden tiekartan pohjana on ajatus tehdä kiertotaloudesta Suomen talouskasvua, vientiä ja tuontia ajava voima (Sitra 2016, s. 9). Suomella voidaan ajatella olevan lähes etulyöntiasema olla suunnannäyttäjänä tässä suuntauksessa kohti kestävä kehitystä ja kestävämpää kapitalismia, sillä Suomi on jo ennestään edelläkävijän asemassa kiertotalouden tyyppisissä ratkaisuissa pitkiä perinteitä omaavan metsäteollisuutensa ansiosta (Sitra 2019). Metsäteollisuuden ratkaisuissa ei mene käytännössä mitään hukkaan, sillä puunjalostuksen kannalta hyödyntämättömät sivuvirrat, kuten kuoret, on voitu valjastaa hyötykäyttöön polttamalla ne energiaksi. Toisaalta nykyaikaisessa metsäteollisuudessa tuotannon sivuvirtoja jalostetaan yhä korkeamman jalostusasteen tuotteiksi.

Wijkmanin ja Skånbergin (2015, s. 6–7) mukaan kiertotalouden avulla voidaan luoda uusia työpaikkoja ja parantaa yritysten kilpailukykyä. Määrät eivät ole aivan mitättömiä, sillä arvioiden mukaan Suomeen voitaisiin luoda kiertotalouden myötä jopa 75000 uutta työpaikkaa ja nostaa viennin arvoa 1–2 % bruttokansantuotteesta, joka olisi rahassa mitattuna muutaman miljardin euron luokkaa. Syntyvät työpaikat ovat sellaisia, joita on vaikea ulkoistaa ja jotka vaativat korkeatasoista osaamista, joten työpaikat myös pysyisivät Suomessa. Euroopan komission (2015, s. 2) mukaan työpaikkoja syntyy paikallisesti kaikille osaamistasoille. Myös Stahel (2019, s. 7) mainitsee, että työpaikkoja voi syntyä varsinkin pieniin ja alueellisiin, tuotteen elinkaaren pidentämiseen liittyviin palveluihin. Deloitte (2015, s. 5) mukaan kiertotalouteen olennaisesti liittyvillä kierrättämisellä ja uudelleenkäytännöllä voidaan vähentää ideaalitulanteessa jopa kolmannes kasvihuonekaasupäästöistä EU:n alueella. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen taustalla on ilmastonmuutoksen hillitseminen, jolloin kiertotalous voidaan nähdä ilmastotekona.

Suurimpia hyötyjiä taloudellisesti kiertotalouden ratkaisuihin siirryttäessä voivat olla kierrätyspalveluiden, sekä huolto- ja korjauspalvelujen tarjoajat. Aloille syntyy myös uusia innovaatioita ja teknologioita, joiden myötä löydetään uusia markkinarakoja ja liiketoimintamalleja. Tuotteiden uudelleenprosessointi lisää työvoiman tarvetta ja vähentää energiankulutusta vähentäen samalla raaka-aineiden kulutusta ja hukkaa. Esimerkiksi lasipullon peseminen ja käyttäminen uudelleen on tehokkaampaa kuin lasin kierrättäminen tai uuden pullon valmistaminen mineraaleista lähtien. Kiertotaloutta ei pitäisikään nähdä pelkästään ympäristötekona, vaan myös kilpailukykytekijänä. Kiertotalouden ratkaisulla voidaan säästää myös energiaa, sillä materiaalien uudelleenprosessointi kuluttaa vähemmän resursseja kuin neitseellisen raaka-aineen käyttäminen, joten kiertotalous on myös eräänlainen energiatehokkuuden ratkaisu. (Stahel 2016, s. 436–437; Sitra 2019)

2.1.2 Kiertotalouteen siirtymisen haasteet ja riskit

Kiertotalouteen siirtymiseen liittyy mahdollisuuksia ja sen voidaan ajatella olevan hyvä alusta uusille innovaatioille ja liiketoimintamalleille, mutta tähän liittyy luonnollisesti myös haasteita ja riskejä. Deloitte (2016, s. 8) mukaan kiertotalouteen siirtyminen vaatii teknologisia, organisatorisia ja sosiaalisia innovaatioita. Suoranaisia häviöitä olisivat nykyiset neitseellisiä raaka-aineita tuottavat maat, jotka voisivat kärsiä alentuneesta viennistä maiden siirtyessä yhä omavaraisempaan talouteen kiertotalouden ratkaisujen myötä (Wijkman & Skånberg 2016, s. 8). Yhtenä kiertotalouteen siirtymisen suurimpiin haasteisiin kuuluvat ihmisten asenteet, sillä ei ole aivan yksinkertaista muuttaa omia kulutustottumuksiaan, jos vaihtoehtoisia kestäviä ratkaisuja ei ole saatavilla. Tämän vuoksi on tärkeää, että yritykset tarjoavat markkinoille kestäviä ratkaisuja kilpailukykyiseen hintaan. Kiertotalouden haasteet voivat liittyä myös kierrättämiseen; esimerkiksi yksittäisten raaka-aineiden tai yhdisteiden erottaminen metalliseoksista voi olla haastavaa, sillä nykyaikaiset metalliseokset voivat sisältää useita vaikeasti toisistaan erotettavia metalleja. Vaikka nämä saataisiinkin eroteltua, erottelun kustannukset voivat kohota suuriksi, jolloin vaihtoehtoiset toimintatavat tulevat kannattavammiksi. (Stahel 2016, s. 436) Stahel (2019, s. 7) mainitsee täydellisen raaka-aineiden hyödyntämisen vaativan yhdisteille jopa atomitasen erottelua, joka puolestaan vaatii tavallisesti pienen mittaluokan toimintaa ja täysin uusia innovaatioita toimiakseen. Myös jo olemassa olevan tuotteen kunnossapitäminen korjausten ja huoltojen kautta voidaan nähdä työvoimavaltaisempana kuin uusien tuotteiden valmistuksen nykyaikaisten tehtaiden korkean automaatioasteen vuoksi (Wijkman & Skånberg 2015, s. 9). Huoltotoiminnan

lisääntyminen on toisaalta myös työllistymistä edistävä tekijä, joten se ei ole pelkästään uhka kokonaisuutta ajatellen.

2.1.3 Kiertotalouden ratkaisujen yhteenveto ja toteutumisen vaatimukset

Kiertotalouteen siirtymisen vahvuudet, heikkoudet, uhkat ja mahdollisuudet on esitetty kootusti taulukon 1 SWOT-analyysissä.

Taulukko 1. SWOT-analyysi kierrotalouden ratkaisusta.

Vahvuudet <ul style="list-style-type: none"> • Ympäristöteko • Ilmastonmuutoksen hillitseminen • Neitseellisten raaka-aineiden säästymisen 	Heikkoudet <ul style="list-style-type: none"> • Joidenkin kierrotalouden prosessien työvoimavaltaisuus • Joidenkin kierrotalouden prosessien toteutumisen kustannukset.
Uhkat <ul style="list-style-type: none"> • Ihmisten asenteet • Yritysten asenteet ja halu siirtyä kohti kierrotalouden ratkaisuja • Kustannukset • Neitseellisiä raaka-aineita tuottavien maiden viennin kärsiminen. 	Mahdollisuudet <ul style="list-style-type: none"> • Kilpailukykytekijä yrityksille • Uusien innovaatioiden, yritysten ja työpaikkojen syntyminen • Mahdollinen talouskasvun ajuri • Yritysyhteistyön kehittyminen teollisten symbioosien myötä.

Kuten taulukon 1 SWOT-analyysistä voidaan havaita, kierrotalouteen siirtyminen ei ole aivan yksiselitteinen asia, eikä yhdenkään yrityksen tulisi ottaa käyttöönsä kierrotalouden ratkaisuja pelkästään kierrotalouden itsensä vuoksi. Yritysten tulisikin miettiä kierrotalouden ratkaisuihin siirtymistä oman toimintansa kannalta, sillä joidenkin kierrotalouden ratkaisujen toteutuminen voi osoittautua nykYTEknologialla huomattavan kalliiksi. Eivät kuluttajakaan ole välttämättä valmiita äkillisille muutoksille kulutustottumuksissaan. Toki kierrotalous on hyvin tavoiteltava asia erityisesti positiivisten ympäristövaikutustensa ja mahdollisten taloudellisten hyötyjensä kannalta. Valtion ohjaillessa koko maata kohti kierrotaloutta ensimmäiset uuden teknologian

omaksijat voivat tosin olla voittajia, jotka voivat sanella ehdot uusien tuotteiden, palveluiden ja valmistusmenetelmien standardeiksi.

Sitran (2016, s. 12) mukaan kiertotalous voidaan luoda Suomeen seuraavilla, taulukossa 2 esitetyillä osa-alueilla ja tekijöillä:

Taulukko 2. Kiertotalouden luomisen osatekijät mukaillen Sitraa (2016, s.12).

Kiertotalouden osatekijä	Selitys
Tuotteiden elinkaari	Tuotteiden tulee kestää niin pitkään kuin mahdollista, ne voidaan korjata ja niihin on oltava saatavissa varaosia. Elinkaarensa loppupäässä tuotteet voidaan kierrättää.
Kuluttajien vastuu	Tarjonta seuraa kysyntää, joten on kuluttajien vastuulla, hankkivatko he kestäväällä tavalla valmistettuja tuotteita.
Yritysten vastuu	Yritykset valmistavat helposti korjattavia tuotteita sen sijaan, että valmistettaisiin kertakäyttöisiä tuotteita. Ne myös tarjoavat huoltopalveluja myymilleen tuotteille.
Jälleenmyyjät	Kuluttajille myydään enemmän palveluita kuin tuotteita ja heille mainostetaan korjaus- ja huoltopalveluja. Tuotteiden ympäristövaikutuksista ja materiaaleista, sekä tuotteiden kierrätysmahdollisuuksista elinkaaren loppupäässä tiedotetaan kuluttajille.
Jakelu	Jakelu on toteutettu yhteistyössä eri toimijoiden kesken, ajoneuvoissa käytetään uusiutuvia polttoaineita ja ajoneuvoja käytetään yhteisesti.
Valmistava teollisuus	Teollisuudella on tarkat tiedot käyttämistään raaka-aineista, jotta erilaiset aineet ja yhdisteet voidaan erotella toisistaan elinkaaren loppuvaiheessa. Valmistetaan pitkään kestäviä tuotteita, jotka voidaan huoltaa ja korjata.
Materiaalin prosessointi	Energian ja materiaalin kulutusta vähennetään prosessisuunnittelulla ja tuotannon sivuvirrat otetaan huomioon.
Alkutuotanto	Raaka-aineita käytetään kestävästi ja harkitusti.

Kuten Sitran (2016, s. 12) esittelemistä, taulukossa 2 esitetyistä kiertotalouden luomisen osatekijöistä voidaan havaita, kiertotalouden toteutuminen yhteiskunnallisella tasolla vaatii jokaisen osapuolen osallistumista koko ekosysteemissä. Toisaalta jokainen osapuoli ja yksilö voi osaltaan vaikuttaa kiertotalouden toteutumiseen omilla valinnoillaan. Kuitenkin valmistavalla teollisuudella on suuri rooli tarjota markkinoille tuotteita, jotka ovat kestäviä ja helposti huollettavia, mutta myös valmistettu ja jaeltu markkinoille kestäväillä tavoilla. Stahelin (2016, s. 438) mukaan erityisesti yrityksiä voitaisiin ohjata kohti kiertotaloutta esimerkiksi verotuksen avulla: uudelleenkäytetyistä raaka-aineista on jo kertaalleen maksettu verot, joten tämä voitaisiin ottaa huomioon valmistukseen liittyvässä verotuksessa. Toisaalta haitalliseksi koettuja materiaaleja voidaan verottaa enemmän, jolloin yrityksille tulee houkuttelevammaksi käyttää tuotannossaan kestävämpiä materiaaleja. Suomen hallitus onkin selvittänyt esimerkiksi veroa uusiutumattomista luonnonvaroista valmistetuille pakkauksille, jätteenpolton energia- ja hiilidioksidipäästöön perustuvaa verotusta, sekä korotusta kaatopaikalle päätyvän jätteen verotukselle (Valtioneuvosto 2019, s. 25).

2.1.4 Kiertotalous vs. lineaarinen talous

Stahelin (2016, s. 436) mukaan on olemassa käytännössä kolmenlaista teollisuustalouden tyyppiä: lineaarinen-, kierto- ja suorituskykytalous, jotka eroavat toisistaan esimerkiksi tuotteen omistajuuden ja tuotteen elinkaaren loppupään tapahtumien perusteella. Kuvassa 3 havainnollistetaan yksinkertaista lineaarisen talouden prosesseja. Lineaarinen talous etenee ja virtaa kuin joki: se käyttää raaka-aineita, jotka jalostetaan vaiheittain tuotteeksi ja jokaisen vaiheen voidaan ajatella tuovan lisäarvoa tuotteeseen. Ostos hetkellä vastuu tuotteen omistajuudesta riskeineen siirtyy ostajalle ja ostajan vastuulla on päättää, mitä tuotteelle tehdään elinkaaren loppuvaiheessa; kierrätetäänkö se vai heitetäänkö hukkaan. Jos tuote päättyy jätteeksi, prosessi on kuvatus kaltainen lineaarinen ketju, jota kuvaa erinomaisesti nimitys lineaarinen talous. (Stahel 2016, s. 436)



Kuva 3. Havainnekuva lineaarisesta prosessista.

Kuvassa 4 havainnollistetaan yksinkertaistaen kiertotalouden suljettua prosessia. Prosessi sisältää samat vaiheet kuin lineaarinen prosessi, mutta sillä erotuksella, että elinkaarensa loppupäässä tuote kierrätetään ja kierrätetty materiaali palaa jonkin toisen, mahdollisesti useamman tuotteen raaka-aineeksi. Käytännössä prosessin käynnistämiseen vaaditaan neitseellistä raaka-ainetta, eikä kaikkea materiaalia voida välttämättä hyödyntää tehokkaasti.



Kuva 4. Havainnekuva kiertotalouden prosessista.

Stahelin (2016, s. 436) mukaan voidaan tunnistaa myös kolmas talouden malli, suorituskyykytalous. Suorituskyykytaloudessa ei myydä itse tuotetta, vaan palvelua tuotteen käyttöoikeuden muodossa. Tuttuna esimerkkinä tästä toimivat tuotteiden leasingpalvelut, joissa tuotteen käyttäjät maksavat käytöstä omistamatta tuotetta. Tällöin vastuu tuotteesta ja sen omistajuudesta säilyy leasingpalvelun tuottajalla, joka päättää, mitä tuotteelle tehdään elinkaarensa loppupäässä (Deloitte 2015, s. 31). Leasing-sopimukset voivat sisältää erilaisia huoltopalveluita, joten mallin voidaan ajatella olevan hyvin lähellä kiertotalouden ideaalimallia olettaen, että leasing-palvelun tuottaja kierrättää tuotteen elinkaaren lopussa. Toisaalta leasing-palvelujen tuottajat voivat myös myydä tuotteen käyttäjälle tietyn käyttöajan jälkeen, jolloin on käyttäjän vastuulla, mitä tuotteelle tapahtuu elinkaarensa päässä. Toisaalta joidenkin tuotteiden osalta valmistajan vastuu on ulotettu koko tuotteen elinkaaren ajalle erilaisten menetelmien, kuten tuottajavastuun kautta. (Bocken et al. 2016, s. 312; SER-kierrätys 2012.)

2.2 Jäte ja ongelmajäte

Jätettä ovat sellaiset asiat tai esineet, joiden haltija on poistanut ne käytöstä, aikoo poistaa ne käytöstä tai on velvollinen poistamaan ne käytöstä (646/2011, 5.1 §). Jätteet voidaan luokitella karkeasti syntytapansa mukaan esimerkiksi teollisuusjätteeseen ja yhdyskuntajätteeseen, joista ensimmäistä syntyy teollisuuden prosessien seurauksena ja jälkimmäistä esimerkiksi kotitalouksissa tavallisen kulutuksen ja elämisen seurauksena. Teollisuusjäte, tai tuotantojäte, on tyypillisesti kullakin toimialalla omanlaisensa ja jätemäärät vaihtelevat. Kuitenkin aineet, jotka syntyvät tuotantoprosessien yhteydessä olematta valmistettavaa tuotetta mielletään sivuvirroiksi, eivätkä jätteeksi. Erääksi omaksi jätelajikseen tunnustetaan vaarallinen jäte, josta käytetään myös nimitystä ongelmajäte. Tämä poikkeaa muusta jätteestä kemiallisilta tai muilta ominaisuuksiltaan siten, että se voi aiheuttaa vaaraa tai muuta haittaa ympäristölle tai terveydelle. Vaarallinen jäte on tämän vuoksi käsiteltävä vaarattomaksi tai hävitettävä erityisiä ohjeita noudattaen. Vaarallisia jätteitä ovat esimerkiksi paristot, maalit ja niihin liittyvät jätteet, sekä erilaiset öljyt. (646/2011; Tilastokeskus 2019)

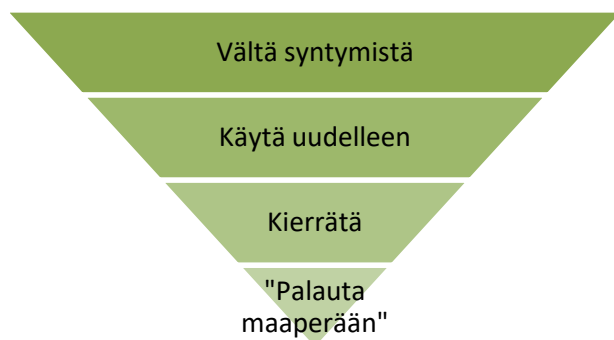
2.2.1 Jätelait ja asetukset

Jätelainsäädännön tarkoituksena on edistää luonnonvarojen järkevää ja kestävää käyttöä, ehkäistä jätteistä ja jätteenkäsittelystä aiheutuvia haittoja terveydelle ja ympäristölle, sekä varmistaa toimiva jätehuolto. Suomen jätelainsäädäntö seuraa Euroopan unionin jätelainsäädäntöä, jonka asettamalla jätteenkäsittelydirektiivillä pyritään ohjaamaan toimintaa siten, että jätteenkäsittelyjärjestys voisi toteutua mahdollisimman tehokkaasti. Jätteen syntymistä tulisi pyrkiä vähentämään jo tuotteen elinkaariajattelussa, mutta jos jätettä syntyy, se pyrittäisiin hyödyntämään ensisijaisesti materiaalina ja vasta sen jälkeen energiana. (Kauppila 2019; 2008/98/EC 2008.)

Jätehuoltoa ohjaavat Suomessa ja Euroopan Unionin alueella kuvassa 5 esitetyt neljä pääsääntöä, joita voidaan nimittää 4R-malliksi (Levinen 2015; Luste 2015):

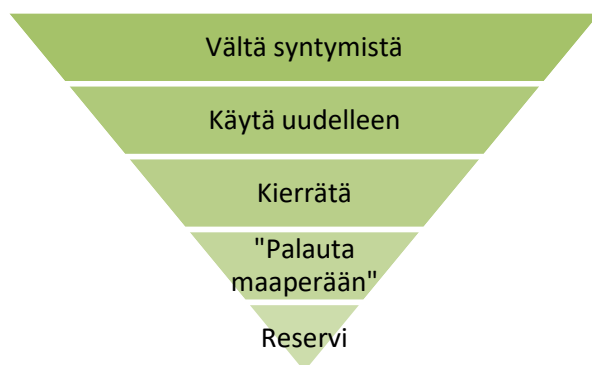
- Ensisijaisesti jätteen syntymistä pyritään välttämään (Reduce).
- Jos jätettä kuitenkin syntyy, se on valmistettava uudelleenkäyttöä varten tai käytettävä uudelleen sellaisenaan (Reuse).
- Jos uudelleenkäyttö ei ole mahdollista, on jäte hyödynnettävä ensisijaisesti aineena ja toissijaisesti energiana (Recycling).

- Jäte voidaan sijoittaa kaatopaikalle vain silloin, kun sen hyödyntäminen ei ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista (Recover).



Kuva 5. Jätehuollon 4 pääsääntöä (Luste 2015, muokattu).

Mallissa ylin vaihtoehto on siis suotuisin ja alin vähiten suositeltava. Levisen (2015) mukaan järjestyksestä voidaan poiketa silloin, jos jokin muu vaihtoehto on ympäristön kannalta edullisempi. Lusteen (2015) mukaan perinteinen 4R-malli tulisi pyrkiä korvaamaan 5R-mallilla, jossa normaalisti viimeisenä käsitettävän loppusijoituksen, eli “maaperään palauttamisen” lisäksi malliin otettaisiin mukaan raaka-ainereservi, eli kaatopaikoilla jo olevaa jätettä voitaisiin käyttää raaka-aineena (Ks. Kuva 6).



Kuva 6. 5R-malli (Luste 2015, muokattu).

2.2.2 Jätehuolto kiertotalouden mallissa

Kiertotalouden ideaalimallissa jätteenkäsittelyn periaatteet on viety pitkälle: sen mukaan jätettä ei ole olemassa, vaan jäte on raaka-ainetta jollekin muulle prosessille (Berg 2016, s.2). Kiertotalouden periaatteet on myös otettu osaksi vuoden 2030 valtakunnallista jättesuunnitelmaa, johon on sisällytetty seuraavat kiertotaloutta ja kestävästä kehitystä tukevat kohdat (Laaksonen et al. 2018, s. 11–12):

- Laadukas jätehuolto on osa kestävästä kiertotaloudesta.
- Materiaalitehokas tuotanto ja kulutus säästävät luonnonvaroja ja hillitsevät ilmastonmuutosta.
- Jätteen määrä on vähentynyt nykyisestä. Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nousseet uudelle tasolle.
- Kierrätysmarkkinat toimivat hyvin. Kierrätyksen ja materiaalien uudelleenkäytön myötä syntyy uusia työpaikkoja.
- Kierrätysmateriaaleista saadaan erilleen myös pieninä pitoisuuksina esiintyviä arvokkaita raaka-aineita.
- Materiaalikierrat ovat haitattomia ja tuotannossa käytetään yhä vähemmän haitallisia aineita.
- Jätealalla on laadukasta tutkimusta ja kokeilutoimintaa ja jäteosaaminen on korkealla tasolla.

Suunnitelmassa korostuvat siis keskeiset kiertotalouden periaatteet, joiden mukaan jätteen syntymistä pyritään hillitsemään kierrätyksen ja tuotteiden uudelleenkäytön avulla, kuin myös valmistamalla tuotteita tehokkailla tavoilla. Toisin sanoen tuotteen koko elinkaaren materiaalivirtoja kavennetaan, kuten esimerkiksi Bocken et al. (2016, s. 309) on esittänyt. Jätteen syntyminen otetaan huomioon jo tuotteen suunnittelun yhteydessä pyrkimällä valmistamaan tuotteet siten, että käytettäisiin mahdollisimman vähän haitallisia aineita sekä pyrkimällä siihen, että kierrätysmateriaalien aineet ovat erotettavissa toisistaan.

Jätettä tai sivuvirtoja voi syntyä periaatteessa missä tahansa prosessin vaiheessa. Korkean tason kiertotaloudeksi voidaan laskea esimerkiksi kirpputoreihin ja vastaaviin käytettyjen tavaroiden kaappoihin verrattavat toiminnot, kun taas syvemmälle mentäessä voidaan puhua jo jätteen hyödyntämisestä raaka-aineena. Kaiken jätteen hyödyntäminen ei välttämättä ole nykyisellään kannattavaa, mutta tekniikan kehittyessä ja uusien innovaatioiden myötä voidaan pyrkiä kohti jätteenkäytön yhteiskuntaa. Vaikka joidenkin jätelajien kohtalona onkin vielä tänä päivänä lopputuotteen kaatopaikalle, jätteenkäsittelyhierarkian ulottaminen raaka-ainereserviin mahdollistaa sen, että nämä aineet voidaan kuitenkin hyödyntää jollakin tavalla sitten, kun tekniikan kehittymisen tai neitseellisen raaka-aineen hinnannousun myötä näiden käytöstä tulee kannattavaa. Varmaa on kuitenkin se, että kiertotalouden toteutumista pyritään edistämään lainsäädännön avulla sekä valtakunnallisella-, että EU-tasolla.

2.3 Yritysekosysteemi

Yritysekosysteemit ovat yritysten, organisaatioiden ja muiden sidosryhmien verkostoja, jotka sisältävät toimittajat, jakelijat, asiakkaat, kilpailijat ja viranomaistahot, jotka ovat jollakin tavalla osana tuotteen tai palvelun toimittamisessa markkinoille, yleensä joko yhteistyön tai kilpailun kautta. Kyseessä on siis yksittäisiä yrityksiä ja niiden keskeisimpiä toimintoja laajempi kokonaisuus (Kuva 7). Ideana on, että kaikki ekosysteemiin kuuluvat osapuolet vaikuttavat kaikkeen ja ovat myös vaikutuksen alaisina. Näin muodostuu alati muuttuvia suhteita toimijoiden välille, jonka vuoksi jokaisen ekosysteemiin kuuluvan on oltava joustava ja sopeutuva, aivan kuten luonnossa esiintyvissä ekosysteemeissä. (Hayes 2019)



Kuva 7. Yritysekosysteemien kuvaus tasoittain mukaillen Moorea (Heikkilä & Kuivaniemi 2012, s. 19, suomennettu).

Yritysekosysteemikäsitteen luojaan Mooren (1993, s. 75) mukaan ”*menestyksekkäät yritykset ovat niitä, jotka kehittyvät nopeasti ja tehokkaasti. Kuitenkaan innovatiiviset yritykset eivät voi kehittyä tyhjiössä--*”. Näissä lauseissa kiteytyy koko yritysekosysteemiajattelun ydin, eli menestyvät yritykset eivät voi toimia yksin, tai ainakin yhteistyössä toimiminen on tehokkaampaa. Toisaalta jonkin yksittäisen tahon huomioonottamatta jättäminen voi aiheuttaa odottamattomia ongelmia, pahimmassa tapauksessa tuhoten koko ekosysteemin.

Luonnon ekosysteemit toimivat mallina yritysekosysteemeille, joten ymmärtääkseen yritysekosysteemien toimintaa on hyvä ymmärtää luonnon ekosysteemien toimintaa. Luonnon ekosysteemeissä niihin kuuluvat organismit vaikuttavat toisiinsa tehden yhteistyötä ja kilpaillen samoista resursseista, jolloin niiden on mukauduttava tehokkaasti uusiin tilanteisiin säilyäkseen hengissä (Hayes 2019). Luonnon prosesseissa ei myöskään synny lainkaan jätettä, vaan kaikki käytetään jollain tavalla hyödyksi (Lieder & Rashid 2015, s. 46). Puista maahan varisevat lehdet eivät ole jätettä, vaan maaduttuaan ne muodostavat ravinteikasta multaa, joka toimii kasvualustana uusille kasveille. Kuolema ei siis ole luonnossa loppu, vaan se toimii alkuna jollekin muulle. Sen sijaan ihmisen toiminta nykyisin hallitsevana olevassa lineaaritaloudessa noudattaa hyvin pitkälti kaavaa ”ota, valmista, käytä, hävitä” (Stahel 2016, s. 435). Kestävän kehityksen kannalta parempi tapa olisi ”ota, valmista, käytä, kierrätä”, mutta silloinkin käytön vaiheen tulisi olla mahdollisimman pitkä.

Kuten luonnossakin, rajatussa elintilassa toimiessaan uusien toimijoiden on vaikeaa päästä osingoille yksin, sillä ne eivät joudu kilpailemaan vain yhtä toimijaa, vaan koko verkostoa vastaan (George & Jones 2016, s. 164). Verkoston osana toimiminen sen sijaan voi osoittautua kannattavammaksi, sillä laajat organisaatioiden muodostamat verkostot mahdollistavat tehokkaan tiedon, innovaatioiden, asiantuntemuksen ja näkemysten siirtymisen, jotka voivat johtaa taas uusiin innovaatioihin. Verkostossa toimiessaan yritykset voivat päästä myös kokonaan uusille markkinoille ja löytää uusia asiakkaita. (Hayes 2019; Moore 1993.)

2.3.1 Yritysekosysteemi kiertotalouden kannalta

Yritysekosysteemien voidaan nähdä olevan keskeisessä asemassa kiertotalouden ratkaisujen toteutumisen kannalta. Esimerkiksi Euroopan komission (2015, s. 6) mukaan teollinen symbioosi mahdollistaa sen, että yhden yrityksen tai toimialan jätteestä voi tulla toisen yrityksen raaka-ainetta. Yritykset ja muut tahot voivatkin joutua tekemään tiivistä yhteistyötä jätteen ja tuotannon sivuvirtojen optimaaliseksi hyödyntämiseksi. Aina jätettä tuottava yritys ei tiedosta tämän arvoa tai hyödyntämispotentiaalia esimerkiksi tietotaidon puutteen vuoksi, jolloin voidaan tarvita laajaa yhteistyötä eri tahojen kanssa jokaisen yksityiskohdan huomioimiseksi. Todennäköisesti useimmiten ollaan tilanteessa, ettei tuottajan sivuvirta ole soveltuvaa käytettäväksi suoraan potentiaalisen hyödyntäjän prosesseissa, jolloin tuottajan jotakin prosessin osaa tai yksityiskohtaa voidaan joutua hiomaan. Kyseiset toimenpiteet voidaan kuitenkin nähdä tavallisina tuotantoprosessien

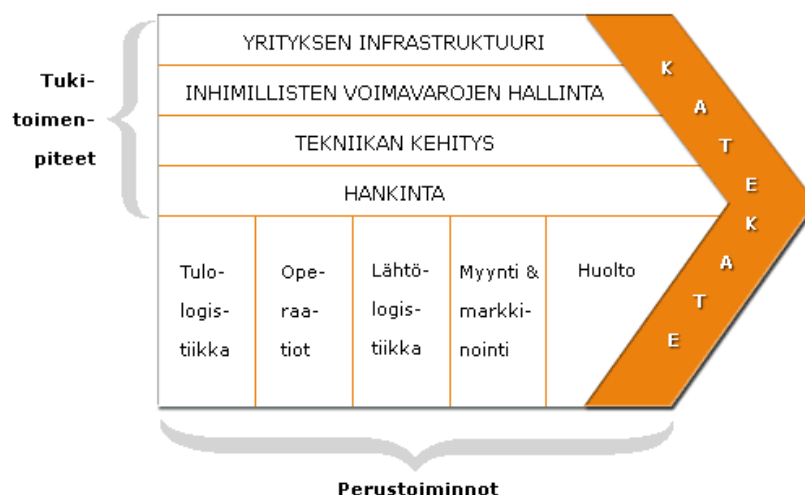
tai –menetelmien muutoksina, joita kehittyvät yritykset muutenkin toteuttavat. Oman osansa paletissa muodostavat yritysekosysteemin muut toimijat, kuten valtioiden päättävät elimet, jotka voivat ohjailla yritysten toimintaa kohti kestävämpiä ratkaisuja. Joskus lainsäädäntö voi myös olla esteenä sille, ettei kiertotaloudellisia ratkaisuja voida toteuttaa. Kuitenkin esimerkiksi Euroopan komission (2015, s. 6) mukaan lainsäädäntöä pyritään kehittämään siten, että kiertotalouden ja teollisten symbioosien toteuttaminen onnistuisivat paremmin. Yhdessä innovoimalla ja toteuttamalla uusia ratkaisuja yritykset ja muut tahot voivat saavuttaa merkittäviä synergiaetuja, joista on hyötyä jokaiselle osapuolelle. Toisaalta toteuttamiskelvottomat ideat voidaan haudata heti alussa.

2.4 Arvonluonti asiakkaalle kilpailuedun luomiseksi

2.4.1 Arvoketju

Arvoketjuajattelu perustuu Porterin vuonna 1985 esittämään malliin, joka kuvaa yrityksen läpi virtaavaa materiaalia ja sen jalostumista, tai vaihtoehtoisesti sitä arvoa, jonka yritys luo asiakkaalle (Kuva 8). Tuotteen voidaan ajatella saavan lisäarvoa jalostumisen myötä jokaisessa arvoketjun toiminnoissa. Jokainen näistä toiminnoista kuluttaa kuitenkin myös resursseja, joita ovat esimerkiksi pääoma, työvoima, konekapasiteetti ja rakennukset. Tuotteen voidaan siis ajatella sitovan kustannuksia jokaisessa arvoketjun vaiheessa, jonka myötä lopputuotteen kustannukset kasvavat. Porter (1985, s. 15) mainitseekin, että *”yrityksen kilpailuetu pohjautuu asiakkaalle tuotettavaan arvoon, joka on suurempi kuin sen aikaansaamiseen tarvittavat kustannukset”*. On siis täysin asiakkaan päätettävissä, onko tuotettu arvo sen mukaista, jotta siitä voidaan maksaa yrityksen pyytämää hintaa. (Hokkanen et al. 2011, s. 19; Porter 1985, s. 54; Strategy Train 2009; University of Cambridge 2019)

Porter (1985, s. 21) mainitsee, että asiakkaiden tarpeiden tyydyttäminen arvonluomisen kautta on liiketoiminnan menestymiselle lähes elinehto. Arvoketjun avulla voidaankin analysoida kunkin tuotteen jalostumista ja arvonlisäystä, joten arvoketjun perusteella voidaan määritellä, mitkä toiminnot lisäävät tuotteeseen arvoa. Vastaavasti voidaan selvittää, mitkä toiminnot lisäävät tuotteeseen ylimääräistä arvoa, sekä mitkä ovat tuottamattomia toimintoja tai suoranaista hukkaa. Tutkimalla prosesseja arvoketjuanalyysin avulla prosessien suorituskykyä voidaan siis tehostaa ja prosesseista voidaan havaita arvoa tuottamattomia vaiheita ja pullonkauloja.



Kuva 8. Arvoketjun kuvaus Porterin (1985, s. 55) mukaan (Isokangas 2003).

Arvoketjun pää- tai perustoiminnot käsittävät ne toiminnot, joiden avulla yritykset voivat luoda arvoa ja saavuttaa kilpailuetua, eli yritys nähdään arvoa luovien toimintojen ketjuna. Tukitoiminnot puolestaan ovat niitä toimintoja, jotka eivät suoranaisesti vaikuta tuotteen jalostumiseen, mutta ne ovat kuitenkin välttämättömiä yrityksen toiminnan kannalta. Vaikka arvoketjukäsitteen luoja Porter (1985) ei tätä alkuperäisessä teoriassaan tuonut esille, arvoketju voi myös kuvata useamman yrityksen toimintaa saman tuotteen jalostamiseksi, sillä yritykset voivat keskittyä pelkästään siihen toimintoon, joka on niiden ydinsisäistä ja ulkoistaa ne toiminnot, jotka eivät kuulu oman ydinsisäisyyden piiriin. Hyvin tyypillinen esimerkki tästä on valmistavan yrityksen keskittyminen pelkästään valmistustoimintoihin kaikkien muiden toimintojen ollessa ulkoistettuja. (Hokkanen et al. 2011, s. 20)

Arvoketjun voidaan ajatella sisältävän seuraavat päätoiminnot kuvassa 8 esitetyn mallin mukaisesti (Porter 1985, s. 57–58; Strategy train 2009):

- Tulologistiikka
- Operaatiot
- Lähtölogistiikka
- Myynti ja markkinointi
- Palvelut tai huolto

Tulologistiikka käsittää saapuvien materiaalien vastaanoton, varastoinnin ja inventoinnin, sekä mahdollisesti materiaalien siirtämiseen kokoonpanoon. *Operaatiot* sisältävät ne

toimenpiteet, joilla materiaali jalostetaan lopputuotteeksi. Näihin kuuluvat esimerkiksi koneistus, kokoonpano, pakkaaminen, laitehuolto ja testaaminen. *Lähtölogistiikka* on käytännössä tulologistiikalle vastakkainen toiminto, jonka tavoitteena on saattaa valmis tuote asiakkaalle. Tähän kuuluvat muiden muassa varastointi, kuljetus ja jakelun hallinta. *Myyntiin ja markkinointiin* kuuluvat kysynnän synnyttävät tekijät, kuten asiakasryhmien tunnistaminen, mainostaminen, markkinointi, myynti, hinnoittelu ja jälleenmyynnin hallinta. *Palvelut* muodostuvat asiakkaalle toimitetun tuotteen käytön tuesta ja jälkimarkkinoista, joihin kuuluvat esimerkiksi huollot ja korjaukset, koulutukset, asiakastuki, varaosien hallinta ja päivitykset. (Porter 1985, s. 58; Strategy train 2009)

Päätoiminnot voivat olla ratkaisevan tärkeitä kilpailuedun muodostuksessa, sillä ne määrittävät pitkälti sen, kuinka tehokkaasti yritys tai organisaatio luo tuotoksia panoksista. Luonnollisesti luodun arvon tulee olla asiakkaan näkökulmasta suurempi kuin arvonluontiin käytettyjen toimintojen summan, jotta voidaan tuottaa voittoa. Kilpailumielessä arvo on se summa, jonka asiakkaat ovat valmiita maksamaan yritysten tarjoamasta tuotteesta. (Porter 1985, s. 56; Weele 2010, s. 7.)

Analysoimalla arvoketjujaan yritykset voivat löytää toiminnastaan säästöpotentiaalia arvoa tuottamattomien asioiden tunnistamisella, jolloin ne voivat tehostaa arvonluomistaan keskittymällä niihin asioihin, joilla yritys luo parhaiten arvoa. Toisaalta prosesseista voidaan tunnistaa ne tekijät, jotka luovat tuotteelle vääränlaista arvoa synnyttäen tuotteeseen ylimääräisiä kustannuksia, josta asiakkaat eivät halua maksaa.

Suomessa kiertotaloudelliset ekosysteemit ovat syntyneet tavallisesti teollisuuden vahvojen vetureiden ympärille, joiden sivuvirtoja hyödyntämään on syntynyt useita startup-, sekä pk-yrityksiä, kuin myös uusia innovaatioita. Tällöin sivuvirtoja tuottava yritys voi keskittyä päätoimintoihinsa samalla, kun kiertotalouteen keskittyneet yritykset keskittyvät omaan ydintoimintaansa, eli kiertotaloudelliseen toimintaan. (Orko 2020, s. 80)

Kiertotalous vaatiiikin yleensä toimiakseen useamman yrityksen yhteistyötä, jolloin tyypillinen kiertotaloustuotteiden arvoketju todennäköisesti myös kattaa useamman yrityksen toiminnot, sillä yritysten kannattaa keskittyä niihin toimintoihin, jotka ovat niiden ydintoimintoja ja antaa ydinosaamisen ulkopuolella olevat toiminnot muiden yritysten toteutettavaksi. Tämä vaatii yritysekosysteemimäistä ajattelua, jossa korostuu yhteistyö yritysten välillä.

2.4.2 Liiketoimintamallit

Liiketoimintamalli (Business model) on yrityksen tai organisaation korkeatasoinen suunnitelma siitä, kuinka se luo voittoa tai tuottaa lisäarvoa asiakkailleen (Kopp 2019). Sillä määritellään esimerkiksi yrityksen tuottamat tuotteet tai palvelut, kohdemarkkinat, sekä liiketoiminnasta syntyvät voitot ja kustannukset (Teece 2010, s. 172). Teeceä (2010, s. 191) mukaillen ”liiketoimintamalli heijastelee johdon hypoteesia siitä, *mitä asiakkaat haluavat, miten he haluavat sen ja mitä he ovat siitä valmiita maksamaan*”, sekä ”*kuinka liiketoiminta tulisi organisoida, jotta voitaisiin täyttää mahdollisimman hyvin asiakkaiden tarpeet ja saada tästä vielä hyvä maksu*”.

Uudelle liiketoiminnalle täytyy määritellä liiketoimintamalli, jotta voidaan houkutella rahoittajia ja osaavaa työvoimaa, sekä motivoida johtoa ja henkilöstöä. Uudet liiketoimintamallit voivat myös luoda täysin uusia toimialoja. Myös jo olemassa olevien yritysten täytyy muokata liiketoimintamallejaan muuttuvia trendejä vastaavaksi, jotta ne voivat kilpailla menestyksekkäästi markkinoilla. Kohdemarkkinoilla tarkoitetaan valittuja asiakasryhmiä, joita voivat olla esimerkiksi yksityisasiakkaat (Business to customer, B2C) tai yritysasiakkaat (Business to business, B2B). Liiketoimintamallien luomiselle ja määrittelemiselle on kehitelty runsaasti erilaisia työkaluja, joista tunnetuin on luultavasti Osterwalderin ja Pigneurin (2010, s. 42) esittelemä Business Model Canvas (BMC). (Kopp 2019; Teece 2010, s. 187)

Liiketoimintamallin luomisen voidaan ajatella olevan jopa elinehto markkinoille pyrkivälle yritykselle. Yrityksen tulee tarjota palvelua tai tuotetta, joilla se voi kilpailla jo markkinoilla olevien yritysten tarjoamien vastaavien tuotteiden ja palvelujen kanssa kustannustehokkaasti. Tavallisesti tämä onnistuu tarjoamalla markkinoille jotakin täysin uutta innovaatiota, jolla on myös kysyntää, eli yrityksen täytyy löytää toiminnalleen sopiva markkinarako. Vaikka innovaatio olisi kuinka hyvä tahansa, vaatii se kuitenkin kaupallistamista tullakseen kannattavaksi tuotteeksi. Juuri kaupallistamisstrategian puuttuminen on johtanut monen menestyksekkäältä vaikuttaneen idean ja innovatiivisen yrityksen tuhoutumiseen. (George & Jones 2016, s. 164 & 216; Teece 2010, s. 173 & 183–184)

Kuten kaikessa muussakin liiketoiminnassa, myös kiertotaloudessa on nähtävissä omat liiketoimintamallinsa, joissa korostuvat erityisesti tuotteen uudelleenkäyttäminen tai kierrättäminen elinkaaren loppupäässä, tai vaihtoehtoisesti tuotteiden tarjoaminen

palveluiden muodossa, jolloin palveluna tarjotun tuotteen käytöstä voidaan laskuttaa käytön mukaan. Tuotteet voidaan myös valmistaa kierrätysmateriaaleista tarkoitukseen suunnitelluissa prosesseissa. Lisäksi kiertotaloudellisissa liiketoimintamalleissa korostuu logistiikka siltä osin, että erilaiset kierrätys- tai tuotteen takaisinottopalvelut vaativat toimiakseen materiaalivirtojen siirtämistä. Materiaalivirtojen sulkemiseksi vaaditaan yhteistyötä ja suhteiden ylläpitämistä sekä asiakkaiden, että muiden yritysten kanssa. (Lewandowski 2016, s. 6; Stahel 2016, s. 436)

2.4.3 Liiketoimintastrategiat

Yritykset voivat hyödyntää muutamia erilaisia liiketoimintastrategioita arvonluomiseksi asiakkaille ja kilpaillakseen markkinaosuuksista. Näitä ovat esimerkiksi matalan kustannuksen strategia ja erikoistuminen, josta käytetään myös nimitystä differointi (George & Jones 2016, s. 228). Porterin (1985, s. 15) mukaan yritysten täytyy valita näistä jompikumpi toimiakseen tehokkaasti. Voiton luomiseksi yritykset voivatkin toimia pääasiassa kolmella seuraavalla tavalla: Lisäämällä yksikkömyyntiä, lisäämällä yksikköhintaa, jonka asiakas on valmis maksamaan, tai alentamalla yksikköön kohdistuvia kustannuksia (Teng 2003, s. 3–4). Kuten aiemmin on tuotu esille, arvo on se määrä, jonka asiakkaat ovat halukkaita maksamaan tuotteesta. Ylivertaista arvoa syntyy silloin, kun yritykset kykenevät tarjoamaan samoja etuja kuin kilpailijat, mutta alhaisempaan hintaan. Vaihtoehtoisesti yritys voi tarjota asiakkaille poikkeuksellisen ainutlaatuista etua, jolloin korkeampi hinta on perusteltu. (Porter 1985, s. 15)

Matalan kustannuksen strategiassa yritys pyrkii valmistamaan tuotteita mahdollisimman kustannustehokkaasti, ja yrityksen kohdeasiakassegmentti on tyypillisesti hyvin laaja. Asiakassegmenttien laajuuden vuoksi yrityksellä täytyy tavallisesti olla runsaasti valmistuskapasiteettia sekä tehokkaat hankinta- ja alihankkijaverkostot. Tätä strategiaa harjoittavien yritysten tuotteet eivät välttämättä ole huonolaatuisia, mutta ne ovat riittäviä useimmille asiakasryhmien edustajille, eivätkä ne sisällä muuta kuin välttämättömmän, jota vaaditaan kustannustehokkuuden ja kohdesegmentin tarpeiden tyydyttämiseksi. Matalan kustannuksen strategiaa harjoittavien yritysten täytyy myös hioa toimintojaan jatkuvasti siten, että esimerkiksi tuotesuunnittelussa on otettu huomioon tuotteen kustannustehokas valmistus ja markkinointiosasto pyrkii käyttämään edullisia kanavia, kuten sosiaalisia medioita tuotteiden esittelemiseksi potentiaalisille asiakkailleen. (George & Jones 2016, s. 228; Porter 1985, s. 26-27 & 32–33.)

Erikoistumisstrategiassa yritys taas pyrkii erottumaan vahvasti kilpailijoistaan esimerkiksi tuotteen ominaisuuksien tai laadun avulla. Puhdas erikoistumisstrategia on tyypillisesti kallis toteuttaa, sillä siinä vaaditaan jatkuvaa tutkimusta ja kehitystä tuotteiden parantelemiseksi. Myös markkinointiin voidaan käyttää runsaasti rahaa, jotta tuote voidaan erottaa tehokkaasti kilpailijoistaan. Onnistuessaan erikoistumisstrategiassa valmistajat voivat tosin veloittaa tuotteestaan premium-tason hintoja. Yritykset voivat myös keskittyä luomaan tuotteellaan arvoa pelkästään niiltä osin, jotka ovat sen vahvuuksia ja joita asiakkaat arvostavat. Vähemmän merkittäviä tekijöitä voidaan karsia ja alentaa näin kokonaiskustannuksia, jolloin ero kilpailevien yritysten hintoihin voi pysyä kohtuullisena. (Porter 1985, s. 28 & 32–33.)

Matalan kustannuksen- ja erikoistumisstrategian lisäksi on tunnistettavissa yhteen tai korkeintaan muutama segmenttiin kohdistuvia keskittyneitä strategioita, joita voivat hyödyntää sekä matalan kustannuksen-, että erikoistumisstrategiaan keskittyneet yritykset. Hyvänä esimerkkinä keskittyneestä erikoistumisstrategiasta voidaan mainita käytännössä minkä tahansa huippulaadukkaan tai muuten ominaisuuksiltaan ylivertaisen tuotteen valmistajat: kalliin hinnan vuoksi asiakaskunta on hyvin rajoitettu, mutta toisaalta muiden yritysten on vaikea tulla kilpailemaan samoille markkinoille. Toisaalta näillä tuotteilla voidaan täydentää markkinoilla olevien tuotteiden kokonaistarjontaa asiakkaiden näkökulmasta. (George & Jones 2016, s. 228–229; Porter 1985, s. 25 & 28)

Porterin (1985, s. 31) mukaan mikään yritys ei voi toteuttaa puhtaasti sekä matalan kustannuksen-, että erikoistumisen strategioita, sillä erikoistuminen nostaa väistämättä kustannuksia johtaen premium -tason hinnoitteluun, jotta kustannukset voidaan kattaa. Yritysten, jotka eivät noudata puhtaasti kumpaakaan strategiaa, sanotaan olevan juuttuneita keskelle. Nämä yritykset eivät yleensä voi toimia yhtä tehokkaasti kuin jompaa kumpaa strategiaa puhtaasti noudattavat.

Hinnoittelun merkitystä tuotteelle ei ole syytä väheksyä, sillä hinnoittelun kautta yritys voi tuoda esille strategiaansa. Hinnoittelu on myös merkittävin yksittäinen asia tuloksen kannalta, sillä liian korkea hinta voi johtaa markkinaosuuksien menetykseen, kun taas liian alhainen hinta voi vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen. Yrityksen tulee olla selvillä siitä, millaisia hintoja asiakas on valmis tuotteistaan maksamaan ja kuinka kilpailevat yritykset hinnoittelevat tuotteensa. (Teece 2010, s. 188; TIEKE 2005.)

Jos tutkitaan tarkemmin arvonluonnin keinoja sekä tekijöitä liiketoimintastrategiansa toteuttamiseksi, Georgen ja Jonesin (2016, s. 250) mukaan yritykset voivat saavuttaa kilpailuetua seuraavilla tavoilla:

- Tuotantoprosessien tehokkuus
- Tuotteen laatu
- Innovaatio, nopeus ja joustavuus
- Asiakastarpeiden mahdollisimman hyvä tyydyttäminen.

Tuotantoprosessien tehokkuudella tarkoitetaan sitä, että yritys kykenee valmistamaan tuotteita, eli synnyttämään tuotoksia panoksista mahdollisimman optimaalisilla resursseilla. Tuotteen laatu puolestaan merkitsee sitä, että yritys valmistaa tuotetta, joka on kilpailijoihin nähden huippulaadukas tai muuten ylivoimainen kilpailijoiden vastaaviin tuotteisiin nähden, jolloin yritys voi veloittaa tuotteistaan premium-tason hintoja. Innovaatiolla tarkoitetaan sitä, että yritys voi tarjota jotakin täysin ainutlaatuista kilpailijoihinsa nähden. Tämä voi olla esimerkiksi jokin uudenlainen tuote tai uudenlainen ja tehokkaampi tapa valmistaa tuotetta tai palvelua. Yritys voi saavuttaa kilpailuetua myös täyttämällä asiakastarpeen mahdollisimman hyvin, eli tarjotaan juuri sitä tuotetta, jota asiakkaat haluavat. Teecen (2010, s. 188) mukaan juuri ne yritykset, jotka ymmärtävät syvällisesti, mitä asiakkaat todella haluavat ja tarvitsevat, ovat yleensä voittajia kilpailussa asiakkaista.

Mainituista arvonluonnin keinoista tuotantoprosessien tehokkuus linkittyy varsin keskeisesti matalan kustannuksen strategiaan, kun taas tuotteen laatu, innovaatioon liittyvät tekijät ja asiakastarpeiden mahdollisimman hyvä tyydyttäminen voidaan nähdä osana erikoistumisstrategiaa. Raja voi kuitenkin olla häilyvä, ja esimerkiksi innovaatioon liittyvät tekijät voivat olla myös osana matalan kustannuksen strategiaa, jos innovaatio linkittyy vaikkapa uuteen, tehokkaampaan tuotantoprosessiin. Nykyaikainen yritys voi luoda asiakkaalle arvoa keskittymällä kiertotalouteen ja tarjoamalla tätä myöten kestävämpiä ja eettisempiä ratkaisuja tyydyttäen näin eettisyyttä arvostavien asiakkaiden tarpeet. Koska kierrätetyt materiaalit voivat olla neitseellisiä raaka-aineita edullisempia ja näiden prosessointi on hyvin usein neitseellisten raaka-aineiden prosessointia energiatehokkaampaa, yritys voi saavuttaa myös kustannussäästöjä kiertotalouden kautta. Lisänä voivat olla täysin uudenlaiset innovaatiot, joita yritykset tai tutkimusorganisaatiot voivat synnyttää kehitellessään uusia käyttökohteita tuotannon sivuvirroille.

2.4.4 Liiketoimintatapa-analyysi

Business case analysis, vapaasti suomennettuna liiketoimintatapa-analyysi, on vapaamuotoinen kuvaus, jonka avulla voidaan määritellä jonkin projektin tai hankkeen ominaisuuksia lukujen lisäksi kvalitatiivisesti eli laadullisesti. Sen avulla voidaan esimerkiksi vertailla eri projekteja keskenään määrittämällä näistä saatavia hyötyjä ja näistä mahdollisesti aiheutuvia kustannuksia ja riskejä. Tämän vertailun avulla yritykset voivat arvottaa eri projekti-ideoita keskenään, jotta kallisarvoiset resurssit voidaan kohdistaa juuri siihen projektiin, jolla voisi olla parhaimmat menestymisen edellytykset. Menestymisen edellytyksiä voivat olla esimerkiksi kysyntä markkinoilla sillä hetkellä, kun uusi tuote on valmiina markkinoille, tai vaikkapa uuden tuotteen sopiminen yrityksen omaan tuoteportfolioon. Esimerkiksi Kinnusen et al. (2011) mukaan lisäksi tulisi aina arvioida, kuinka tuote tai tapaus sopii yrityksen strategiaan, eli mikä on sen *strategic fit*. Liiketoimintatapa-analyysin avulla voidaan siis kuvata kunkin tuotteen matka ajatuksesta toimivaksi liikeideaksi, joista parhaimmat voidaan valita jatkokehitystä varten. Liiketoimintatapa-analyysiä käytetään tavallisesti tuotekehityksen yhteydessä, mutta sitä voidaan soveltaa aivan hyvin minkä tahansa uuden liikeidean arvioimiseen. (ISACA 2010, s. 9; Kinnunen et al. 2011, s. 49; Maholic 2019)

Liiketoimintatapa-analyysissä käsitellään yleensä seuraavat asiat (Maholic 2019):

- Liiketoimintaongelma tai –mahdollisuus
- Mahdolliset ratkaisut sekä niiden edut ja haitat
- Ratkaisuun liittyvät riskit
- Kustannukset
- Toteutuksen aikajana
- Seuraukset uuden ratkaisun käyttöönotosta tai pysymisestä nykyisessä tilassa
- Tarvittavat resurssit.

Prosessin käynnistävä tekijä on siis liiketoimintaongelman tai -mahdollisuuden huomaaminen, josta edetään tutkimalla erilaisia ratkaisuja sekä niiden etuja ja haittoja. Näistä sopivin vaihtoehto valitaan jatkokehitystä varten. Prosessi etenee yllä listattujen vaiheiden mukaisesti käymällä läpi hankkeeseen mahdollisesti liittyvät riskit ja syntyvät kustannukset. Lisäksi määritellään toteutuksen aikajana ja tarvittavat resurssit. Lisäksi on tärkeää määritellä uuden ratkaisun käyttöönoton seuraukset verrattuna siihen, että pysyttäisiin nykytilassa.

2.5 Logistiikka & toimitus- ja arvoketjut

Logistiikka käsittää materiaalivirtojen ohjaamisen raaka-aineiden alkulähteiltä tuotantoon, tavaroiden hankinnan, varastoinnin ja kuljettamisen siten, että tavara on *oikeaan aikaan, oikeassa paikassa ja oikean laatuksena*. Lisäksi kustannukset ja muut haitat, kuten negatiiviset ympäristövaikutukset ja turvallisuusriskit pyritään minimoimaan. Materiaalivirtojen ohjaamisen lisäksi logistiikan voidaan katsoa käsittävän raha- ja tietovirtojen suunnittelun ja ohjaamisen. Logistiikka voidaankin käsittää toimintakokonaisuuden hallitsemisena, jonka avulla resurssit hankitaan, varastoidaan ja kuljetetaan asiakkaille unohtamatta paluulogistiikkaa, joka käsittää esimerkiksi materiaalien kierrätyksen. (Kenton 2019; Logistiikan maailma 2020)

Kärjistettynä logistiikan voidaan siis katsoa käsittävän käytännössä kaiken mikä liikkuu, mutta logistiikasta on kehitetty ja käytetty runsaasti erilaisia ja toisistaan poikkeavia määritelmiä. Pääpaino on kuitenkin sillä, että tuotteen ketju asiakkaalle asti pyritään toteuttamaan kustannustehokkaasti kuitenkin siten, että asiakasvaatimukset on otettu huomioon. Logistiikka voidaankin nähdä kokonaisuudessaan erilaisten arvoa luovien toimintojen sarjana, eli yhtenäisenä prosessina. (Bartolacci et al. 2012, s. 118; Logistiikan maailma 2020)

Tilaus-toimitusketjujen hallinnan (Supply Chain Management, SCM) avulla voidaan kuvata monimutkaisiakin yritysten muodostamia verkostoja, joissa asiakkaat ja toimittajat ovat osana pitkää ketjua alkutuottajalta loppuasiakkaalle. Tähän ketjuun kuuluvat materiaalien hankinnat, tuotteiden valmistus, jakelu ja jälleenmyynti. SCM:n määrittelyihin liittyy, että asiakkaille pyritään luomaan *enemmän arvoa vähemmällä*. (Hesse & Rodrigue 2003, s. 175; Howard et al. 2018, s. 11-12)

Logistiikan ja tilaus-toimitusketjujen jatkeena ja täydentäjänä voidaan nähdä *arvoverkot*, jotka kuvaavat yritysten tai organisaatioiden linkittymistä toisiinsa arvonluomiseksi. Arvoverkon voidaan ajatella olevan pidemmälle jalostettu versio Porterin (1985, s. 55) esittelemästä arvoketjusta. Arvoverkot voivat olla hyvinkin monimutkaisia sisältäen yrityksen lisäksi asiakkaat, tavarantoimittajat, täydentäjät ja kilpailijat. Kuten yritysekosysteemien tapauksessa, myös arvoverkoissa yritykset voivat saada synergiaetuja toimiessaan yhteistyössä muiden yritysten kanssa esimerkiksi kokonaan uusien markkinoiden muodossa. Toisaalta arvoverkkojen osana toimiessaan muiden

toimijoiden menestyminen ja epäonnistumiset vaikuttavat myös muihin verkossa toimiviin yrityksiin. Yritykset voivat tehdä yhteistyötä esimerkiksi tuotekehityksessä, jolloin jaetuilla tuotekehityskustannuksilla voidaan saavuttaa kaikkia osallisia hyödyttäviä ratkaisuja. (Peppard & Rylander 2006, s. 133; Teng 2003, s. 3–4)

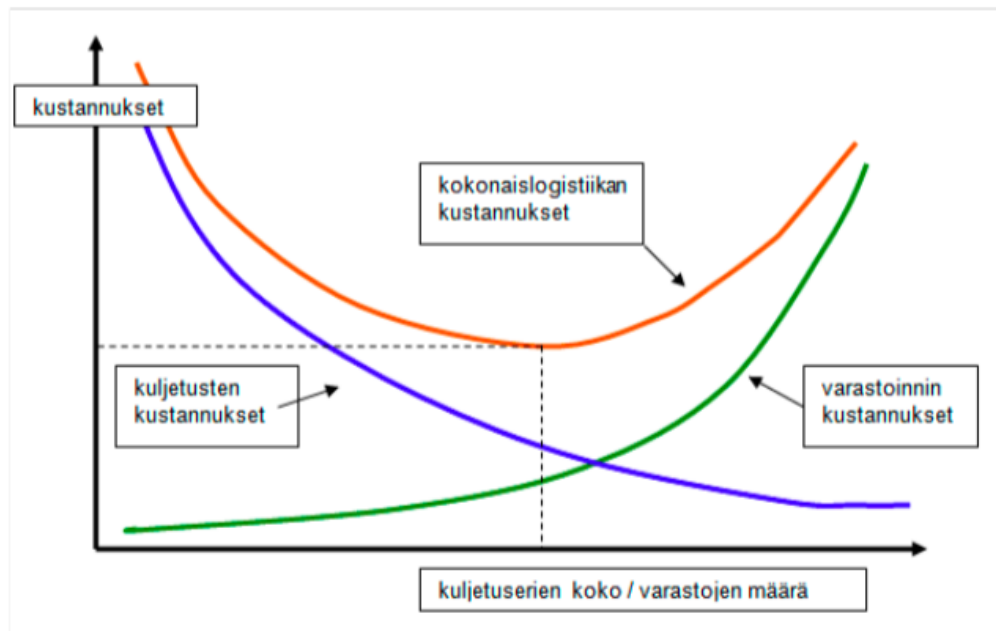
2.5.1 Logistiikan taloudellinen merkitys ja ongelmat

Logistiikkaa ei voida pitää aivan merkityksettömänä yritysten kustannusrakenteen näkökulmasta, sillä arvioiden mukaan keskimäärin n. 14 % suomalaisten yritysten kustannuksista muodostuu logistiikasta (Solakivi et al. 2018, s. 16). Logistiikkakustannusten voidaan nähdä olevan merkittävä osa minkä tahansa tuotteen kokonaishintaa ja toisaalta logistiikkakustannusten alentamisella voidaan melko helposti vaikuttaa tuotteiden kokonaishintoihin (Hokkanen et al. 2011, s. 57). Kuten Porter (1985, s. 21) on asian ilmaissut, asiakkaiden on haluttava maksaa tuotteesta hinta, joka ylittää sen tuotantokustannukset. Kaiken kaikkiaan logistiikka ja kuljetukset ovat talouden ja yritysten toiminnan elinehto ja toisaalta logistiikka voi osoittautua myös tekijäksi sille, ettei toiminta ole kannattavaa, sillä logistiikan näkyvimpiin toimintoihin kuuluvat kuljetus ja varastointi maksavat ja toisaalta ne ovat tyypillisesti ensimmäisiä kohteita, joista voidaan etsiä ja löytää säästöpotentiaalia.

Suomessa logistisia ongelmia aiheuttavat muun muassa pitkät etäisyydet vientiteollisuuden päämarkkina-alueille, riippuvuus merikuljetuksista, sekä kotimaan ohuet tavaravirrat. Varsinkin viimeksi mainittu on seurausta siitä, että Suomi on verrattain suuri, mutta kuitenkin harvaanasuttu maa. Tämä aiheuttaa haasteita kuljetuskaluston ja kuljetusyksiköiden optimaaliselle hyödyntämiselle, jolloin eri toimijoiden välinen yhteistyö ja liikenteen solmukohtien, kuten terminaalien ja varastojen tehokas käyttäminen korostuvat kuljetusten osalta. Merikuljetusten riippuvuus taas johtuu siitä, että esimerkiksi Euroopan päämarkkinoista ja suurimmista satamista katsottuna Suomi on kuin saari, jonka Itämeri erottaa muusta Euroopasta. Tämä on seikka, joka korostuu etenkin ulkomaankaupassa. Ylimääräisiä kustannuksia aiheuttava tekijä on talvisin jäätyvä Itämeri, joka vaatii jäänmurtajien käyttämistä laivareittien ja satamien avoimina pitämiseksi. (Hokkanen et al. 2011, s. 22–25.)

2.5.2 Logistiikan kokonaiskustannukset

Logistiikan kokonaiskustannuksia voidaan ymmärtää tarkastelemalla kuvaa 9, jossa on esitettyä kuljetusten ja varastoinnin kustannukset, sekä näiden funktiona muodostuvat logistiikan kokonaiskustannukset. Toisten kustannusten pienentyessä toiset kasvavat, joten kokonaiskustannusten tasapainoa ajatellen molemmat joudutaan ottamaan huomioon. Toisaalta kokonaiskustannuksia voivat lisätä myös muut tekijät, kuten palvelun laadun tai häiriöttömän tuotantoprosessin varmistaminen, tai mahdollinen epävarmuuksien huomioiminen. Vaikka kokonaislogistiikan kustannukset olisivat pienimmät mahdolliset, varastoitava tuote voi aiheuttaa vanhetessaan kustannuksia myyntiin kelpaamattomuuden myötä, jos tuotteelle ei olekaan kysyntää varastossa olevaa määrää vastaavasti, eli tuote muuttuu epäkurantiksi varastossa ollessaan. Toisaalta liiallinen riippuvuus kuljetuksista voi tulla kalliiksi esimerkiksi silloin, jos tuodusta raaka-aineesta riippuvainen jatkuvatoiminen prosessi joudutaan keskeyttämään yllättävän raaka-ainepulan vuoksi. Häiriö kuljetusten toimitusvarmuudessa voi siis tulla kalliiksi, jos pidetään yllä liian optimaalisia varastotasoja ja toiminta on liian ”*Just In Time*”, eli tavara pyritään saamaan paikan päälle juuri tarpeen hetkellä. (Logistiikan maailma 2020)



Kuva 9. Logistiikan kokonaiskustannusten muodostuminen (Logistiikan maailma 2020).

Tarkasteltaessa logistiikkaa laajempänä kokonaisuutena, kokonaislogistiikan kustannuksiin eniten vaikuttavat asiat ovat (Ebrahimi et al. 2011, s. 371):

- Raaka-ainekustannukset
- Raaka-aineiden kuljettamisesta toimittajilta tuotantoon aiheutuvat kustannukset
- Materiaalien jalostamisen kustannukset
- Kuljetuskustannukset tuotantolaitoksilta varastoon
- Varastoinnin aiheuttamat kustannukset
- Kuljetuskustannukset varastosta asiakkaalle.

Koko systeemin kustannuksia voidaan pienentää tehokkaalla hankinnalla, tuotannolla, jakelulla ja varastonhallinnalla. Kuitenkaan juuri mitään yksittäistä toimintoa ei voida optimoida tehokkaasti ottamatta muita tekijöitä huomioon. Esimerkiksi varastotasojen pienentäminen liiallisesti missä tahansa logistiikkaketjun vaiheessa voi lisätä kuljettamisen kustannuksia ja päinvastoin. Jotta säästöjä voitaisiin synnyttää, kokonaisuus on siis otettava huomioon. Säästöjä voidaan tosin synnyttää vähentämällä ketjun lenkkejä, kuten ylimääräisiä varastoja.

Suuret varastotasot missä tahansa prosessin vaiheessa voivat taata lähes häiriöttömän materiaaliavirran prosessin seuraavaan vaiheeseen tai erinomaisen palvelutason asiakkaalle, mutta ne luovat kuitenkin myös suuret kustannukset, sillä varastoihin sitoutuu pääomaa. Myöskään varastojen ylläpito ei ole ilmaista, sillä itse varastotila, mahdollinen lämpötilansäätely, materiaalin siirtokalusto ja varastohenkilöstö ovat kulueriä. Varastot siis kasvattavat pääoman tarvetta sekä varastoitavan tavaran, kuin myös varastotoiminnan ylläpidon seurauksena. Varastoilla voidaan siis sujuvoittaa prosesseja ja parantaa asiakastytyvääisyyttä, mutta tämä ei ole ilmaista. Voidaankin melkein sanoa, että varastot ovat välttämätön paha, jos ajatellaan koko toimitusketjun kustannuksia. Tilattaessa suurta erää toimittajalta voidaan saavuttaa paljousalennuksia, ja valmistettaessa optimaalisia eriä tuotteita tai ajettaessa mahdollisimman täydellä kalustolla saavutetaan alhaisia yksikkökustannuksia, joten tässä suhteessa varastot voivat alentaa logistiikan kokonaiskustannuksia. Käytännössä missä tahansa logistisen ketjun vaiheessa voidaan joutua varastoimaan, jotta saavutetaan mahdollisimman optimaaliset logistiikan kokonaiskustannukset. (Hokkanen et al. 2011, s. 125–126; Speh 2009, s. 1)

2.5.3 Logistiikan optimointi

Edellä esitettyihin ongelmiin liittyen logistiikkaan liittyy hyvin usein suunnittelua ja optimointia, aivan kuten missä tahansa teknistaloudellisessa toiminnossa, jotta voitaisiin saavuttaa taloudellisia hyötyjä sekä turvata yrityksen kannattavuus pitkällä aikajänteellä (Hokkanen et al. 2011, s. 57). Nykymuotoisiin kuljetuksiin liittyy tavallisesti kasvihuonekaasuja ja muita päästöjä aiheuttavien fossiilisten liikennepolttoaineiden käyttöä, kuin myös esimerkiksi tien kulumisesta johtuvien hiukkasten syntymistä, joten optimoinnin taustalla ovat usein myös ympäristösytyt. Aiemmin mainitussa, Sitran (2016, s. 12) esittelemässä mallissa mainittiinkin kuljetusten ja varsinkin jakelun olevan eräitä tekijöitä, joilla voidaan vaikuttaa kiertotalouden onnistumiseen. Erityisesti oli mainittuna kaluston yhteiskäyttö sekä jakelun suorittaminen yhteisesti, joilla voidaan saavuttaa kuljetuksille korkeat käyttöasteet.

Porterin (1985, s. 107) mukaan “arvotoiminnon maantiellinen sijainti voi vaikuttaa sen kustannuksiin, samoin toiminnon sijainti suhteessa muihin toimintoihin”. Tätä ajatusta voidaan soveltaa varsinkin logistiikkaan, kuin myös monimutkaisempiin toimitus- ja arvoketjuihin. Suurempien logistiikkaketjujen ja niiden kustannusten optimoinnissa lähdetäänkin yleensä liikkeelle siitä, että merkittävimpien arvotoimintojen etäisyydet ovat jollakin tavoin optimaaliset, eli esimerkiksi etäisyydet pisteiden A ja B välillä, mutta mahdollisesti myös C ja D välillä ovat mahdollisimman lyhyet. Arvotoimintoja voivat olla esimerkiksi päämarkkina-alue, raaka-ainelähde, infrastruktuuri, tai vaikka alihankkijoiden, tai muiden toimijoiden verkosto. Varsinkin tuotantolaitosten ja monimutkaisempien toimitusketjujen kohdalla hyvin usein kysymykseen tulee myös se, että tarvittavaa raaka-ainetta tai resurssia saadaan edullisesti, jolloin matkan ei välttämättä tarvitse olla lyhyt kokonaisuuden kannalta. Logistiikan kokonaiskustannukset muodostuvatkin pääasiassa etäisyyden ja kuljetettavien resurssien kustannusten funktiona, joista tärkeimpänä on yleensä itse raaka-aineen kustannus. (Ying 2014, s. 586)

Painovoimamalli

Edellä esitettyyn logistiikkaketjujen optimointiin liittyen on olemassa tehokas työkalu nimeltään painovoimamalli, jota voidaan käyttää esimerkiksi uuden tuotantolaitoksen, terminaalien, jakelukeskuksen, tai lähes minkä tahansa vastaavan logistisen pisteen tai solmukohtan sijainnin määrittämiseen. Käytännössä menetelmä perustuu siihen, että solmukohtaan liittyvien toimijoiden sijainnit ja volyymit tunnetaan. Esimerkiksi

määriteltäessä uuden tuotantolaitoksen sijaintia tai sitä, missä nykyisessä pisteessä toimintaa kannattaisi suorittaa, määritellään raaka-ainelähteiden sijainnit sekä näistä kohdistuvat volyymit, eli kustakin pisteestä toimitettavat raaka-ainemäärät. Tarvittaessa voidaan ottaa huomioon myös muita tekijöitä, kuten kuljetettavien tuotteiden hinta. Määrittelyn tuloksena tuotantolaitoksen tai vastaavan solmukohdan sijainti määrittyy lähimmäs niitä pisteitä, joista tai joihin materiaalin virtaus on suurinta. Painovoimamallin avulla voidaan siis löytää toiminnan kannalta optimaalinen paikka, jossa logistiikan ja varsinkin kuljetusten kustannukset ovat minimissään. (Ying 2014, s. 585–586.)

2.5.4 Logistiikka ja kiertotalous

Logistiikka on tärkeä osa kiertotaloutta, sillä raaka-aineiden ja sivuvirtojen tehokas siirtäminen ovat lähes vaatimuksia kiertotalouden toteutumiselle (Sitra 2016, s. 13–14). Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti myös tuotteiden palautuminen valmistajalle lisääntyy kiertotalouden ratkaisuihin siirtymisen myötä (Lewandowski 2016, s. 6). Palautuvat virrat (reverse logistics) liittyvätkin olennaisena osana kiertotalouteen, eli logistiikan kokonaisajattelussa otetaan huomioon esimerkiksi kierrätyksen yhteydessä palautuvat materiaalit. Tässä suhteessa paluulogistiikan voidaan katsoa linkittyvän kiertotalouteen, mutta kiertotalous on laajempi käsite koskien molempiin suuntiin kiertäviä virtoja esimerkiksi siten, että materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrättäminen on otettu huomioon jo tuotteiden valmistuksessa. (Ripanti et al. 2015, s. 9)

Paluulogistiikan kannattavuuteen vaikuttavat olennaisesti kuljetettavat matkat, kuljetettavan materiaalin määrät sekä jalostamisen kustannukset, joten kierrätys ja jätteen käsittely toteutetaan yleensä siten, että toiminnan kokonaiskustannukset ovat mahdollisimman optimaaliset. Tämä vaatii siis toimintokokonaisuuden optimointia käsittäen materiaalien käsittelypaikan valinnan sekä niihin liittyvien kuljetusreittien määrittämisen. Optimaalisessa käsittelyssä kuljetusmatkat ja -kustannukset eivät nouse liian suuriksi, mutta toisaalta materiaalia on riittävästi jalostustoiminnan kustannustehokkuutta ajatellen. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisimman korkeilla täyttöasteilla tehtäviä kuljetuksia sekä riittävän tasaisia materiaalivirtoja. Logistiikkaketjulta tämä voi edellyttää erilaisten kuljetusten solmukohtien, kuten varastojen ja terminaalien hyödyntämistä. Palautuvien virtojen kerääminen asiakkailta ja uusien tuotteiden jakelu asiakkaille mielletään erilaisiksi toiminnoiksi, eikä jakelureittejä tavallisesti voida käyttää sellaisenaan kierrätettävien materiaalien keräämiseen. (Demirel & Gökçen 2008, s. 1197–1199)

Yritykset ovat perinteisesti mieltäneet, että varastosta lähtiessään tuotteet eivät ole enää heidän vastuullaan, joten he ovat keskittyneet hoitamaan tehokkaasti pelkästään lähtevää logistiikkaa. Nykyaikana tilanne on kuitenkin erilainen, sillä yritysten täytyy käsitellä myös palautuvia virtoja joko lainsäädännön vuoksi, tai pelkästään yhteiskunnallisen huolen aiheuttamista imagosyistä. Käänteinen logistiikka voi kuitenkin toimia myös yrityksen kilpailukykytekijänä, parantaa asiakaspalvelutasoa ja alentaa kustannuksia. (Demirel & Gökçen 2008, s. 1197; Ripanti et al. 2015, s. 6–7)

2.6 Kirjallisuuskatsauksen synteesi

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä haluttiin selvittää, *mitä hyötyä yrityksille ja yhteiskunnalle on kiertotalouteen siirtymisestä.*

Kirjallisuuskatsauksen perusteella yritykset ja yhteiskunnat voivat saada huomattavia etuja siirtyessään toiminnassaan kiertotaloudellisiin ratkaisuihin. Kiertotalouden voidaan nähdä synnyttävän uusia työpaikkoja ja innovaatioita, sekä luovan talouskasvua kestäväällä tavalla. Kyseessä on myös ympäristöteko, sillä kiertotalouden ratkaisuissa pyritään käyttämään mahdollisuuksien mukaan uusiutuvia raaka-aineita, tuotteet suunnitellaan jo lähtökohtaisesti siten, että niiden raaka-aineet voidaan kierrättää tehokkaasti ja materiaalien uudelleenprosessoinnilla voidaan säästää energiaa verrattuna neitseellisen raaka-aineen prosessointiin. Materiaalien kierrättämisellä voidaan myös alentaa kasvihuonekaasupäästöjä, joka on globaalisti tavoiteltava asia. Yritykset voivat saavuttaa säästöjä, jos kierrätetty materiaali on hinnaltaan edullisempaa kuin neitseellinen materiaali tai sen uudelleenprosessointi on kustannustehokkaampaa, mutta kysymykseen voivat tulla myös imagolliset asiat: Vastuullisesti toimiva yritys voi houkuttaa vastuullisuutta arvostavia asiakkaita.

Kiertotalouteen olennaisesti linkittyvien yritysekosysteemien avulla yritykset voivat saavuttaa synergiaetuja tiiviin yhteistyön avulla luoden uusia innovatiivisia tuotteita ja päästen jopa kokonaan uusille markkinoille. Yritykset voivat myös vaihtaa tehokkaasti osaamistaan ja säätää prosessejaan siten, että toinen yritys voi todella käyttää toisen yrityksen jätettä tai sivuvirtoja raaka-aineenaan. Kiertotalouteen liittyvien haasteiden, kuten logististen ongelmien ja materiaalinprosessointiin liittyvien kannattavuuden haasteiden ratkaisemisen myötä kiertotalouteen siirtymisen voi nähdä hyvinkin kannattavana tulevaisuuden ratkaisuna, jota kohti kannattaa pyrkiä.

3 CASE-ESIMERKKIEN TARKASTELU

Tämän kappaleen tarkoituksena on tarkastella erilaisia olemassa olevia kiertotalouden ja yritysekosysteemien ratkaisuja. Kyseessä on eräänlainen kirjallisuuskatsauksen ja empirian välimuoto, jossa on hyödynnetty myös omia kokemuksia ja pohdintaa.

3.1 Case 1: Metsä Fibren Biotuotetehdas

Metsä Fibren Biotuotetehdas on ensimmäinen ”uuden sukupolven” sellutehdas, joka käynnistettiin syksyn 2017 aikana. Se on Suomen suurin sellutehdas, jonka pääraaka-aineina ovat suomalainen havu- ja koivupuu. Päätuotteita ovat vastaavasti havu- ja koivusellu, mutta myös tuotannon sivuvirrat käytetään tehokkaasti hyväksi jalostaen ne korkealle tasolle. Prosessien sivuvirrat käytetään hyväksi täysin, eli mitään ei mene hukkaan. Juuri tämän vuoksi tehdasta nimitetään biotuotetehtaaksi sellutehtaan sijasta. Esimerkkeinä sivuvirroista jalostetuista tuotteista ovat mäntyöljy, tärpätti, bioenergia, tuotekaasu ja rikkihappo. Mahdollisiksi tulevaisuuden tuotteiksi on mainittu tekstiilikuidut ja ligniinijalosteet. Biotuotetehdas ei käytä prosesseissaan lainkaan fossiilisia polttoaineita ja se tuottaa sähköä reilusti yli oman tarpeensa. Tehtaan prosesseissa ovat keskeisessä osassa suljetut kierrot, joissa vesi ja kemikaalit kierrätetään ja hyödynnetään uudelleen. Kemikaalien valmistaminen lähellä tuotannon sivuvirroista jalostamalla sekä näiden kierrättäminen vähentävät luonnollisesti näiden kuljetuksen tarvetta kiskoilla ja maanteilla. (Metsä Group 2018)

Myös muissa Metsä Groupin tuotantolaitoksissa on havaittavissa samanlaista toimintaa sivuvirtojen hyödyntämisessä tai yritysekosysteemimäisessä toiminnassa; esimerkiksi Metsä Fibren Rauman sellutehtaan yhteydessä kehitellään ja valmistetaan biomuovia ja -komposiittia, jota voidaan käyttää vaikkapa huonekalujen valmistuksessa. Samalla tehtaalla syntyvää puun kuorijätettä käytetään Biolanin multien raaka-aineena parantamaan mullan rakennetta. Verrattuna siihen, että perinteisesti kuorta on poltettu tehtaan energiantuotantoa varten, kuoren käyttäminen toisen tuotteen rakenteen- ja ravinteenparantajaksi lisää tässä tapauksessa tuotannon sivuvirtojen arvoa. (Metsä Group 2020)

Koko biotuotetehtaan alue on suunniteltu alusta asti ekosysteemimäisesti siten, että uusien biotuotteiden syntymiselle uusien yritysten kautta on erinomaiset puitteet.

Yritysten sijoittuminen klusterimaisesti samalle alueelle vähentää ja jopa poistaa kuljetusten tarvetta, sillä yhden tehtaan tuottamia raaka-aineita ja sivuvirtoja voidaan käyttää lähistöllä sijaitsevassa tehtaassa. Esimerkiksi kartonkia sellusta valmistava Metsä Groupin tulossyksikkö Metsä Board sijaitsee aivan Biotuotetehtaan läheisyydessä, mutta tämä oli tilanne jo biotuotetehtadista edeltäneen sellutehtaan aikaan, kuin myös useilla muilla Metsä Groupiin kuuluvilla tuotantolaitoksilla. Puunkäytön kannalta synergiahyötyjä saataneen myös lähistöllä sijaitsevasta Metsä Woodin vaneritehtaasta: Vanerinvalmistuksessa käytetään raaka-aineena järeähköjä, määrämittäisiä ja tasapaksuja tukkeja, kun taas sellua voidaan valmistaa hakkuutähteenä saatavista latvuksista tai muuten pienistä puista. Näin koko puu voidaan käyttää hyväksi samoilla alueilla. Vaneritehtaan prosesseissa syntyy myös ylimääräistä puuainesta, josta voidaan hakettamalla jalostaa sellun raaka-aineeksi sopivaa ainesta. Yhteistyö eri tehtaiden välillä puunkäyttöön liittyvissä asioissa on toisaalta ollut käytänteenä jo pitkään, mutta sivuvirtoja hyödyntämällä ja laajemmalla ekosysteemiajattelulla alueella voidaan synnyttää täysin uudenlaista liiketoimintaa.

Biotuotetehtas sijaitsee maantieteellisesti alueella, jossa puuraaka-ainetta on saatavilla erinomaisesti. Puukuljetukset toteutetaan kuorma-autoilla ja rautateitse. Päivittäinen puumäärä on melko suurta käsittäen n. 70 junavaunullista ja n. 240 kuorma-autokuormallista. Sellutoimitukset koostuvat pääasiassa rautatiekuljetuksista. Suurimmat vientisellun virrat kulkevat rautateitse Vuosaaren satamaan Helsinkiin, jossa sellua voidaan varastoida laivausta odotellessa. Toiminta perustuu siihen, että toimitukset Äänekoskelta Vuosaaren varastolle ovat säännöllisiä. Rautatiekuljetusten lisäksi jonkin verran sellua toimitetaan maanteitse kuorma-autoilla pääasiassa kotimaan teollisuuden tarpeisiin. (Metsä Group 2018.)

3.2 Case 2: SER-kierrätys

SER-kierrätys on sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätystä toteuttava tuottajayhteisö. Jokaista Euroopassa toimivaa elektroniikkatuotteiden valmistajaa ja jälleenmyyjää sitoo tuottajavastuulainsäädäntö, joka merkitsee sitä, että yritysten on huolehdittava tuotteistaan myös niiden elinkaaren loppupäässä. Tämän vastuun yritykset voivat hoitaa liittymällä mainittuun tuottajayhteisöön, joka toteuttaa käytettyjen laitteiden keräyksen ja kierrätyksen keskitetysti. (SER-kierrätys 2012)

Pientä sähkö- ja elektroniikkaromua voidaan kerätä jokaisessa sähkölaitteita myyvässä myymälässä, kun taas isompia laitteita varten on olemassa erillisiä alueellisia keräyspisteitä. Myymälät voivat ottaa vastaan pientä elektroniikkaromua myös ilman ostovelvoitetta, mutta isompien laitteiden palauttaminen voi vaatia uuden vastaavan ostamisen. Esimerkiksi ostettaessa jääkaappia voidaan vanha jääkaappi palauttaa siihen myymälään, josta uusi jääkaappi ostetaan, mutta ilman uuden laitteen ostamista palautus ei välttämättä onnistu.

SER-kierrätyksessä kerätyt laitteet ovat yleensä rikkiäisiä, vanhoja, tai vain muuten elinkaarensa päässä, joten ne hyödynnetään joko raaka-aineena, tai sellaisenaan. Jopa 99 % romusta saadaan käytettyä raaka-aineena. SER-kierrätyksen taustaorganisaatiolla on käytössään useita kumppaneita tuotteiden lajitteluun, esikäsittelyyn ja jatkojalostukseen. Nämä toimijat voivat käsitellä ja jalostaa romun itse, tai he voivat toimittaa sen tarvittavat ympäristöluvut omaaville ulkomaisille toimijoille. Romun seasta poimitaan käyttökelpoiset laitteet, jotka ohjataan uusiokäyttöä varten. Pienivikaisia ja korjauskelpoisia laitteita voidaan yleensä myös korjata. Murskattavasta romusta poistetaan kaikki haitalliset ja vaaralliset aineet ja ne toimitetaan ongelmajätteen kierrätykseen. Murskausvaiheessa laitteet murskataan niin pieniksi palasiksi, että erilaisten raaka-aineiden erottelu onnistuu melko vaivattomasti erilaisia mekaanisia ja kemiallisia menetelmiä käyttäen. (SER-kierrätys 2012)

3.3 Case 3: Endevin lietteenpolttolaitos

Rovaniemen jätevedenpuhdistamon yhteydessä on käytössä laitos, jossa vedenpuhdistuksen sivutuotteena syntyvää lietettä poltetaan energiaksi. Poltettaessa lietettä haitta-aineiden, kuten lääk-, mikromuovi-, raskasmetallijäämien sekä bakteereiden, viruksien ja muiden taudinaiheuttajien kierrot katkeavat ja syntyvää tuhkaa voidaan käyttää maanparannukseen. Tuhkasta voidaan melko vaivattomasti seuloa metallit ennen tuhkan hyödyntämistä. Tuhka sisältää lannoitteeksi sopivaa fosforia, mutta haitalliset aineet saadaan hävitettyä. Näin tuhkaa voidaan käyttää myös ravinnon, kuten perunoiden viljelyssä ilman vaaraa haitallisten aineiden leviämisestä.

Euroopassa ja muualla maailmassa lietteenpolttamiskäytäntö on ollut yleinen jo aiemminkin, mutta Suomessa lietteet on perinteisesti kompostoitu tai mädätetty ja tuotos on käytetty maataloudessa tai viherrakentamisessa. Ongelmana näissä ratkaisussa on se,

että lietteen haitalliset aineet valuvat maaperään saastuttaen ekosysteemiä. Lietteenpolttoratkaisuja on siis ollut olemassa jo aiemminkin, mutta nämä ovat toimineet vain suuressa mittakaavassa. Tämän vuoksi laitokset käyttävät ehkä useamman jätevedenpuhdistamon lietettä raaka-aineenaan, joka johtaa suuriin kuljetustarpeisiin. Suomessa vedenpuhdistuslaitosten hajanaisen sijoittumisen ja ohuiden kuljetusvirtojen seurauksena tämänkaltaisen toiminta voisi näkyä kuljetusmäärien lisääntymisenä ja täten kasvaneina kuljetuskustannuksina, kuin myös kasvaneina kasvihuonekaasupäästöinä.

Poltettaessa lietettä ei tarvita tukipolttoaineita, vaan liete toimii itsessään polttoaineena. Endevin polttolaitoksessa käytetään yhden jätevedenpuhdistamon lietettä, sillä polttolaitos voidaan rakentaa kohtuullisin kustannuksin nykyisin toimivien vedenpuhdistuslaitosten yhteyteen. Näin saavutetaan logistista etua, sillä kuljetuksia ei tarvita juurikaan itse lietteelle. Lietteen massasta n. 10 % vaatii kuljetusta tuhkan muodossa. Mädätetty liete taas sisältää vain n. 30 % kuiva-ainetta, jonka kuljettaminen käsittäisi huomattavan suuren nestepitoisuuden kuljettamisen. Pienemmäksi skaalattu ja silti kustannustehokkaasti toimiva lietteenpolttolaitos siis alentaa logistisia kustannuksia tehden toiminnasta kannattavampaa. (Endev 2020; Tesi 2020)

3.4 Case 4: Merikontteja huoltava yritys

Merikontteja huoltavassa yrityksessä huomattiin, että yritys kuluttaa toimintoihinsa huomattavia määriä kallista maalia. Maalihukkaa syntyi liiallisen maalinkäytön seurauksena ruiskumaalauksessa, sekä syntyvien suurien maalijättemäärien vuoksi. Suureksi syyksi maalinkulutukseen huomattiin käytetyn orgaanisen liuotinpohjaisen maalin tehottomuus ruiskumaalauksessa. Maali sisälsi 50 % orgaanisia liuottimia, jotka haihtuivat saman tien ilmaan ruiskutuksen yhteydessä. 20 % maalista meni hukkaan liiallisen ruiskutuksen seurauksena ja 5 % maalista meni hävikkiin maalijätteen muodossa, jolloin se täytyi hävittää ongelmajätteenä. Tämän vuoksi vain n. 25 % maalista tuli hyötykäyttöön merikonttien maalipinnan muodossa. Merkittävimmät prosessista aiheutuvat päästöt olivat siis valtava haihtuvien liuottimien määrä sekä ongelmajätteeksi luokiteltava maalijäte.

Maalausprosessien ongelmien selvittäessä vesipohjaisten maalien käytön mahdollisuutta alettiin selvittää maalinvalmistajien kanssa. Tällöin kuitenkin päädyttiin lopputulokseen, että vesipohjaisten maalien käyttäminen ruiskumaalauksessa on taloudellisesti

kannattamatonta ja teknisesti kehittymätöntä. Kuitenkin puolen vuoden kuluttua sama maalinvalmistaja kykeni tarjoamaan samoilla ominaisuuksilla ja samaan hintaan toimivaa vesipohjaista maalia.

Maalin vaihtamisen myötä saavutettiin pienemmät päästöt ilmaan, maaperään ja vesistöihin, ja myös työntekijöiden altistumisen mahdollisuus orgaanisille liuotinhöyryille poistui kokonaan. Maalia kului vähemmän materiaalin tehokkaamman käytön seurauksena, jolloin myös prosessin energiankulutus pieneni. Myöskään ylijäämämaali ei aiheuttanut enää niin suurta ongelmaa vesipohjaisuutensa ansiosta. Bonuksena maalinvalmistajan ja merikontteja huoltavan yrityksen välille muodostui liiketoimintasuhde, ja vesipohjaisen maalin kysynnän seurauksena maalimarkkinoissa tapahtui muutoksia kestävämpään suuntaan. (Baas 2005, s. 116)

3.5 Case 5: Kattohuovan kierrättäminen uusiobitumiksi

Suomalainen yritys valmistaa kierrätetystä kattuhuovasta bitumia, jota voidaan käyttää asfaltin sideaineena. Kierrätetyn bitumin etuina ovat kestävyys sekä edullisuus, sillä kierrätetyn bitumin hinta on noin 10 % neitseellistä bitumia alhaisempi. Ongelmia aiheuttavat tai ovat aiheuttaneet oletettu raaka-aineen saatavuus, eli saataisiinko kattuhuopaa riittävästi raaka-aineeksi, käytön mahdollisuudet ja kierrätetyn bitumin markkinat, sekä bitumin sekoitukseen sopivan kaluston puuttuminen.

Nykyisellä lainsäädännöllä kierrätettyä bitumia voidaan käyttää vain puolet tiessä käytettävästä bitumista, ja kierrätetty aines täytyy sijoittaa uuden aineksen alle. Bitumin markkinat ovat myös rajalliset, sillä uusien teiden rakentaminen on vähäistä Suomessa. Asfaltin korjaamiseen tarvitaan vain n. 10 % uutta ainesta, sillä vanha aines kyetään kierrättämään tehokkaasti.

Koska kierrätetyn materiaalin osuus kokonaismäärästä saa olla enintään puolet, teiden rakentamiseen tarvittavat bitumimäärät ovat Suomessa melko vähäisiä. Asfalttia valmistavien toimijoiden kalusto ei ole nykyisellään soveltuvaa kierrätetyn bitumin käyttämiseen sopivien sekoituslaitteiden puuttumisen vuoksi. Kattohuopien kierrättämiselle on olemassa vahvat perusteet, sillä jätteenä kattuhuovista joudutaan maksamaan jäteveroa 70 euroa tonnia kohden. (Moksu 2019)

3.6 Case 6: Terästehtaiden kuona-aineiden hyödyntäminen

Terästehtailla syntyy teräksen valmistuksen yhteydessä kuona-aineita, jotka on perinteisesti mielletty jätteeksi, tai ainakin hyödyntämiskelvottomaksi sivutuotteeksi. Kuonaa muodostuu useassa teräksenvalmistuksen vaiheessa, ja prosessien alkupäässä syntyvä kuona sisältää vielä metalleja, jotka voidaan hyödyntää teräksenvalmistuksessa. Lopulliselle kuonallekin on löydetty useita erilaisia käyttötarkoituksia, ja sitä on käytetty esimerkiksi rakennusmateriaalien, kuten asfaltin, sementin ja betonin osana. Myös käyttö lannoitteena on mahdollista ja joitakin innovatiivisiakin ratkaisuja teräskuonan hyödyntämiseen on kehitelty maailmanlaajuisesti.

Lopullinen kuona voi koostua suuremmista, kivimäisistä möykyistä, tai hienosta jauheesta. Suurempia kuonan osia voidaan käyttää sellaisenaan esimerkiksi betonin karkeana kiviaineksena, mutta myös hienompaa ainesta voidaan käyttää hyväksi. Suurempana aineksena käsiteltäessä ongelmia aiheuttavat kuitenkin kuona-ainesten vaihtelevat koot, muodot ja koostumukset, jotka aiheuttavat betonille haitallista huokoisuutta ja alhaisempaa puristuskestävyyttä muihin kiviaineksiin verrattuna. Jauhettaessa kuona hienoksi jauheeksi näitä ominaisuuksia voidaan kuitenkin vähentää ja betonille voidaan saada jopa perinteistä sementtiä parempia ominaisuuksia, kuten alhaisempaa läpäisevyyttä. Kuonalla voidaan myös korvata joitakin mineraaleja, kuten kalkkikiveä ja kvartsiittia, jolloin neitseellisiä luonnonvaroja säästyy. Suurimpia ongelmia jauhemuotoisen kuonan käsittelylle ovat aiheuttaneet varsinkin kuonan sisältämien magnesium- ja kalsiumoksidien vedensitomiskyky, joka on suurempi kuin tavallisella sementillä. Tämän vuoksi betoni voi laajentua arvaamattomasti, jonka vuoksi esimerkiksi Kiinassa kuonan käyttöä sementin seassa on rajoitettu. Mineraalit sitovat nestettä jopa kuukausien ajan, jonka vuoksi kuonaa voidaan joutua varastoimaan kuukausien ajan ennen hyödyntämistä. (Pang et al. 2015, s. 454–455 & 465; Thomson & Burke 1997, s. 2)

Suomalaisten terästehtaiden synnyttämälle kuonalle on olemassa ostajia varsinkin teiden rakennukseen liittyen, mutta suuren ongelman voivat aiheuttaa potentiaalisten ostajien sijaitseminen kaukana, jolloin logistiikkakustannukset kasvavat liian suuriksi kasvattaen tuotteen lopullista hintaa. Tämän vuoksi bulkkimaisen kuonan kuljettaminen kaikille asiakkaille ei ole kannattavaa, vaan korvaavan materiaalin, kuten tavallisen kiviaineksen käyttäminen tulee yleensä edullisemmaksi. (Koskinen 2020) Kiertotalouden

näkökulmasta kuljetuksen aiheuttama hiilijalanjälki voi myös kumota materiaalin kierrätyksestä saatavat hyödyt. Eräiden arvioiden mukaan noin 1/3 kuonan uuden käyttökohteen hiilijalanjäljestä syntyy kuljetuksesta kymmenen kilometrin matkalla, josta voidaan suoraan päätellä, että matkan pidentyessä myös hiilijalanjälki kasvaa. Mainitulla 10 kilometrin kuljetusetäisyydellä loput 2/3 hiilijalanjäljestä syntyy jalostamisen yhteydessä. (Heidrich & Woodhead 2010, s. 14)

3.7 Case-esimerkkien yhteenveto

Taulukkoon 3 on kerätty kootusti edellä esitettyjen kiertotalouteen, yritysekosysteemeihin ja kestävämpiin valmistusmenetelmiin liittyvien casejen ydin.

Taulukko 3. Yhteenveto kiertotalouden case-esimerkeistä.

Case	Kuvaus ja innovaatio	Kiertotalouteen linkittyminen	Ongelmat
Metsä Fibren biotuotetehdas	Tehdasalue on suunniteltu yritysekosysteemejä ajatellen ja tuotannon sivuvirrat jalostetaan korkealle asteelle.	Kaikki sivuvirrat jalostetaan mahdollisimman pitkälle, eikä mitään mene prosesseissa hukkaan.	Suurten volyyymien vuoksi vaatii tehokasta logistiikkaa raaka-aineiden hankkimiseksi ja lopputuotteiden lähettämiseksi.
SER-kierrätys	Elektroniikan valmistajia ja jälleenmyyjiä sitovan tuottajavastuun toteuttaminen keskitetysti.	Tuotteet kerätään ja käsitellään keskitetysti uusiokäyttöä varten. Käyttökelpoiset tuotteet korjataan tai käytetään sellaisenaan.	Raaka-aineen käsittelyn toteuttaminen monimuotoisten tuotteiden vuoksi, hajanainen raaka-aineen tuottajien sijoittuminen.
Endevin lietteenpolttolaitos	Lietteen polttamisen kustannustehokkuus aiempaa pienemmässä mittakaavassa ja alentuneet logistiikkakustannukset.	Lietteen sisältämien ravinteiden palauttaminen maaperään siten, ettei haitallisia aineita päädy maaperään. Sivuvirran tehokas hyödyntäminen.	Lähes täydellinen kiertotaloudellinen ratkaisu, jossa syntyvät ravinteet saadaan palautettua maaperään ilman haitallisia aineita.

Merikontteja huoltava yritys	Maalin ja maalausteknologian vaihtaminen ympäristöystävällisempiin ja taloudellisempiin menetelmiin.	Haitallisen jätteen väheneminen, alentuneet kustannukset ja yritys yhteistyön kehittyminen.	Ei tiedossa.
Kattohuovan kierrätys uusiobitumiksi	Kattohuovan kierrättäminen esim. teissä käytettäväksi bitumiksi.	Jätteen hyödyntäminen kiertotalouden periaatteiden mukaisesti raaka-aineena, joka on neitseellistä ainesta edullisempaa.	Raaka-aineen alhainen kysyntä, lainsäädännölliset ongelmat ja asiakkaiden sopimaton kalusto.
Terästehtaiden kuona-aineiden hyödyntäminen	Terästehtailla syntyvän kuona-aineen hyödyntäminen.	Jätteen mielletävän sivuvirran hyödyntäminen korkean jalostusasteen raaka-aineiksi.	Materiaalin vaihtelevat ja arvaamattomat ominaisuudet, bulkkimaisen tuotteen logistiikkakustannukset, lainsäädännölliset ongelmat.

Case-esimerkkejä tarkastelemalla huomataan, että kiertotalouden ja yritysekosysteemien periaatteita on hyödynnetty laajasti varsinkin uuden teollisuuden yhteydessä. Hyvänä esimerkkinä tästä toimii Metsä Fibren biotuotetehdas Äänekoskella, joka on alusta asti suunniteltu kiertotalouden periaatteiden mukaisesti siten, ettei mitään mene hukkaan, vaan tuotannon sivuvirrat pyritään hyödyntämään tehokkaasti ja jalostamaan pitkälle. Suunnittelussa on myös otettu huomioon uusien yritysten ja liiketoiminnan sijoittaminen tehtaan ympäristöön osaksi ekosysteemiä. Biotuotetehdas vaatii tehokkaasti toimivaa logistiikkaa valtavien saapuvien ja lähtevien materiaalivirtojen vuoksi, mutta toisaalta sivuvirtojen hyödyntämisessä keskityttiin pitämään jalostamisen toiminnot lähellä, jopa samalla tehdasalueella. Kuljetustarpeita vähentävät hieman esimerkiksi kemikaalien jalostaminen ja energian tuottaminen omista tuotannon sivuvirroista.

Logistiikka voi osoittautua merkittäväksi ongelmaksi kiertotalouden kannalta kustannusten, mutta myös ajoneuvojen synnyttämien hiilidioksidi- ja muiden kasvihuonepäästöjen vuoksi. Esimerkiksi Endevin lietteenpolttolaitos -casen yhteydessä

esitettiin, että lietteen jatkokäsittelyn kannalta polttaminen on ollut vaihtoehtona jo aiemminkin, mutta ongelmaksi on tullut ”raaka-aineen” kannattamaton kuljettaminen johtuen sen ”tuottajien” hajanaisestä sijoittumisesta maantieteellisesti tarkasteltuna. Kosteaa liete sisältää vain n. 30 % hyödynnettävää kuiva-ainetta, joten tässä tapauksessa jouduttaisiin kuljettamaan paljon hukkaa. Uudenlainen, pienemmäksi skaalattu ja silti kannattava polttolaitos sen sijaan poistaa lähes kokonaan raaka-aineen kuljetusten tarpeen, jolloin kuljetettavaksi jää vain jäljelle jäävä, maanparannukseen kelpaava tuhka.

Merikontteja huoltavan yrityksen tapauksesta huomataan, että toisinaan tuotantoprosessien kehittämisellä voidaan saavuttaa odottamattomiakin hyötyjä, jotka tässä tapauksessa olivat syntyneet liiketoimintasuhteet maalinvalmistajan ja case-yrityksen välillä, kuin myös maalimarkkinoiden myllerrys. Yritysyhteistyön avulla, tai ainakin myötävaikutuksella, ympäristöystävällisemmän maalin käytöstä tuli kannattavaa ja lähes uusi standardi maalaustoimintaa harjoittavien yritysten keskuudessa.

Kattohuovan kierrätyksessä taas huomattiin suoranaisia hyötyjä, mutta myös haasteita: kierrätetty raaka-aine osoittautui 10 % neitseellistä raaka-ainetta edullisemmaksi ja oletusten mukaan myös kestäväksi, mutta kysyntä ja lainsäädäntö aiheuttivat ongelmia. Koska kierrätettyä raaka-ainetta voidaan käyttää vain puolet kaikesta raaka-aineesta, kierrätetty raaka-aine täytyy sekoittaa neitseellisen raaka-aineen kanssa. Ongelman aiheuttivat myös asfaltin valmistajat, joiden kalusto ei soveltunut kierrätysasfaltin sekoittamiseen.

Myös teräskuonan hyödyntämiseen raaka-aineena liittyy omanlaisiaan ongelmia. Kuonaa on käytetty jo kauan lähes sellaisenaan esimerkiksi betonissa ja asfaltissa. Materiaali on kuitenkin aiheuttanut ongelmia varsinkin betonin puristuskestävyyteen ja huokoisuuteen liittyen. Ongelmaa on kyetty ratkomaan kuonan jauhamisella hienommaksi jauheeksi, jonka sekoittaminen betoniin sopivassa suhteessa on jopa kasvattanut betonin puristuskestävyyttä ja vähentänyt läpäisykykyä, jotka voidaan mieltää hyviksi ominaisuuksiksi. Kuona kuitenkin imee itseensä kosteutta, jonka vuoksi betoni voi turvota jopa arvaamattomasti. Tämän vuoksi käyttöä on rajoitettu esimerkiksi Kiinassa. Varsinaisen ongelman Suomessa aiheuttavat pitkät kuljetusmatkat tuottajalta asiakkaalle, jolloin logistiikkakustannukset lisäävät lopputuotteen hintaa liiallisesti. Myös kuljetuksen hiilijalanjälki kasvaa matkan pidentyessä varsinkin silloin, kun puhutaan pelkästään yhden, bulkkimaisen materiaalin kuljettamisesta.

3.8 Case-esimerkkien synteesi

Toisessa tutkimuskysymyksessä pohdittiin, *mitkä ovat suurimmat haasteet kiertotalouden toteuttamisessa.*

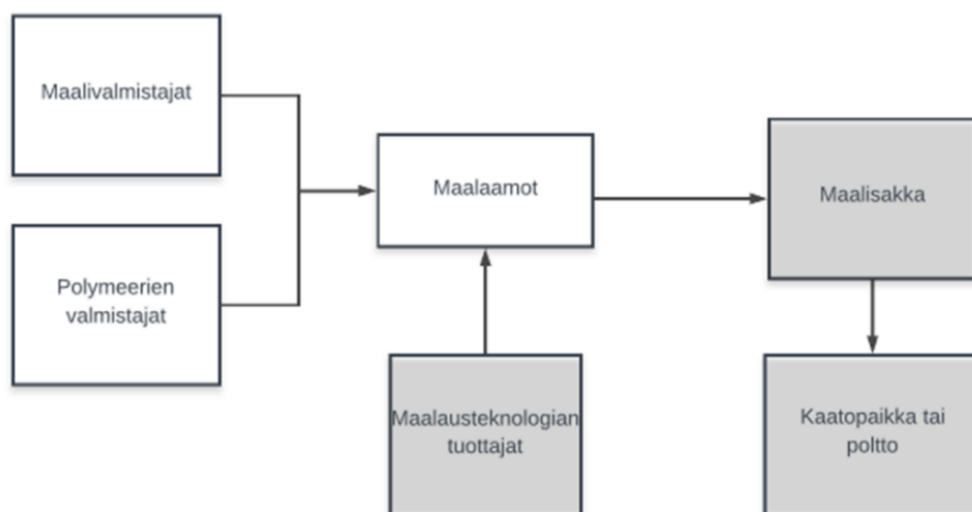
Tutkittaessa valittuja case-esimerkkejä huomataan, että logistiikka ja yritysekosysteemit ovat mukana lähes jokaisessa kiertotaloudellisessa ratkaisussa tavalla tai toisella. Varsinkin logistiikka vaikuttaa olevan hyvin merkittävässä roolissa ja monessa tapauksessa este sille, ettei kiertotaloudellisia ratkaisuja voida toteuttaa tehokkaasti. Kuten jo kirjallisuuskatsauksen yhteydessä todettiin, varsinaisen ongelman Suomessa aiheuttavat mahdollisesti pitkät kuljetusmatkat tuottajalta asiakkaalle, jolloin logistiikkakustannukset lisäävät lopputuotteen hintaa liiallisesti. Myös kuljetuksen hiilijalanjälki kasvaa matkan pidentyessä varsinkin silloin, kun puhutaan pelkästään yhden, bulkkimaisen materiaalin kuljettamisesta. Tämän vuoksi nykyisillä tekniikoilla on useimmiten edullisempaa ja ekologisempaa käyttää korvaavia, lähempää saatavia ja todennäköisesti edullisempia materiaaleja uusien tuotteiden valmistukseen.

Logistiikkakustannusten ja hiilidioksidipäästöjen pienentämiseksi kiertotaloudellisen raaka-aineen tuottajan, käyttäjän ja mahdollisen loppuasiakkaan tulisikin sijaita lähekkäin ja tehdä vahvaa yhteistyötä yritysekosysteemiajattelun mukaisesti. Varsinkin täysin uusien tuotantolaitosten kohdalla logistiikka ja muut tekniset ratkaisut voidaan toteuttaa lähtökohtaisesti siten, että nämä toteutuvat jossakin määrin. Yritysekosysteemien ja logistiikan voidaankin nähdä linkittyvän hyvin läheisesti toisiinsa kiertotaloudellisissa ratkaisuissa. Vaikka kiertotalouden toteuttamiselle olisi olemassa yhteinen tahtotila, logistiikan lisäämä ylimääräinen arvo voi olla esteenä tämän toteutumiselle.

Oman osansa kiertotalouden toteutumiseen vaikuttaa tuovan lainsäädäntö, jolla on rajoitettu jollakin tavalla jätteen tai sivuvirtojen hyödyntämistä. Yleensä tälle on olemassa vahvat perusteet esimerkiksi turvallisuuteen tai tuoteominaisuuksiin mahdollisesti liittyvien riskien vuoksi. Joskus taas käytössä oleva kalusto ja tekniikka voivat aiheuttaa esteitä sivuvirtojen hyödyntämiselle, eli hyödyntääkseen sivuvirtoja tai jätettä kiertotalouden periaatteiden mukaisesti, yritysten tulisi ensin investoida uuteen tekniikkaan. Jos yritykset eivät saavuta näillä investoinneilla riittäviä hyötyjä, investoinnit voivat jäädä helposti tekemättä.

4 MAALISAKAN SYNTY JA UUSI ELÄMÄ

Sahateollisuuden maalausprosesseissa, kuin myös monien muiden teollisuudenalojen maalausprosesseissa käytetään yleisesti vesipohjaisia maaleja pohjamaaleina. Maalausprosessien yhteydessä osa maalista ei päädy tuotteeseen, vaan jää ilmaan leijumaan tai maalaussysteemin rakenteisiin. Puhdistettaessa maalaamon ilmaa tai pestäessä pintoja maalin värin tai sävyn vaihdon yhteydessä, pesuvesi ja maalijämät muodostavat yhdessä maalilietettä. Maalipartikkelit voidaan sitoa maalilietteestä polymeereillä, jotka sitovat maalipartikkeleita suuremmiksi kokonaisuuksiksi muodostaen maalisakkaa, joka kovettuu kiinteäksi harkoksi. Maalipartikkeleista erotettu vesi voidaan laskea viemäriin tai palauttaa maalausprosessin kiertoon. Nykytilanteessa maalisakka viedään kaatopaikalle tai poltettavaksi ja sen hävittämisestä joudutaan maksamaan arviolta jopa 1,2 euron kierrätysmaksu kiloa kohden. Prosessi noudattaa nykyisellään siis erittäin hyvin lineaarisen talouden prosessia (Kuva 10). Suomessa maalisakkaa syntyy n. 100–300 tonnia vuodessa, mutta ongelma on globaali. Tähän ongelmaan pyritään löytämään kannattava, mahdollisesti globaalille tasolle skaalattava ratkaisu kiertotalouden periaatteita hyödyntämällä. Kierrättämällä maalisakka voitaisiin mahdollisesti päästä pienempiin tuotantokustannuksiin, sillä sakan hävittämiseltä säästytään. Case-esimerkkien ja kirjallisuuskatsauksen yhteydessä löydettiin myös esimerkkejä siitä, kuinka kierrätetty materiaali on osoittautunut neitseellisiä raaka-aineita edullisemmaksi, joten tapausta kannattaa ainakin alustavasti tutkia.



Kuva 10. Maalisakan syntymisen ja käsittelyn nykyinen ekosysteemi.

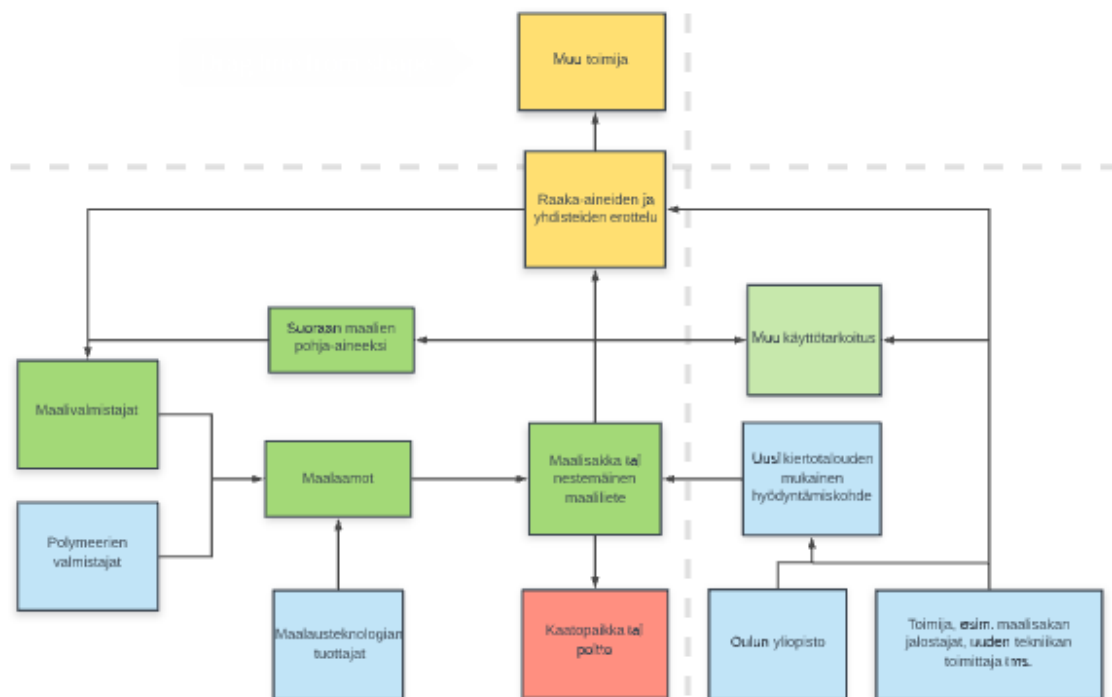
4.1 Tutkimuksen taustat

Maalisakan hyödyntämistä selvitettiin tutkimushankkeessa, jossa oli mukana eri alojen asiantuntijoita kemian ja tuotantotalouden tutkimusyksiköistä. Lisäksi mukana oli yritysten edustajia esimerkiksi maalaustoimintaa harjoittavista yrityksistä, maalinvalmistajista ja muista maalisakanmuodostukseen liittyvän arvoketjun toimijoista. Hankkeen pohjimmaisena ajatuksena oli löytää maalisakalle kiertotalouden periaatteiden mukainen hyödyntämiskohde sekä luoda globaalisti skaalautuvat liiketoimintamallit maalisakan hyödyntämiselle. Tämä diplomityö pohjautuu juuri tähän tutkimushankkeeseen. Kemian tutkimusyksikössä selvitettiin maalisakkanäytteiden sisältämät yhdisteet XRF-analyysin avulla. Lisäksi selvitettiin kirjallisuuden pohjalta, kuinka maalisakkaa on aiemmin hyödynnetty, sekä mikä on maalisakan hyödynnettävyysspotentiaali kemian näkökulmasta. Tuotantotalouden tutkimusyksikössä tutkittiin maalisakan teknistaloudellista hyödynnettävyyttä sekä mallinnettiin maalisakan arvoketjuja erilaisissa kiertotaloudellisissa ratkaisuisissa. Lisäksi tavoitteena oli tuotteistaa ja kaupallistaa hankkeen seurauksena mahdollisesti syntyviä uusia materiaali-, eko- ja kustannustehokkaita maalisakkapohjaisia kiertotaloustuotteita. Luvuissa 4 ja 5 esiteltävät tutkimustulokset ovat pääasiassa tämän ryhmän asiantuntemuksen ja yhteisen pohdinnan tulosta.

Tutkimushankkeeseen liittyen esitettiin alustavasti kuvan 11 kaltainen arvoketju, joka noudattaa nykytilannetta paremmin kiertotalouden periaatteita. Maalisakan hävittäminen kaatopaikalla tai polttamalla ei siis ole ainoa vaihtoehto, vaan maalisakka pyritään ensisijaisesti käyttämään jotenkin hyväksi tavalla tai toisella. Vaihtoehtoisiksi otettiin myös sakkauttamattoman maalilietteen hyödyntäminen, sillä useassa kansainvälisessä tutkimuksessa oli tutkittu nimenomaan maalilietteen hyödyntämisen sovelluksia. Maalilietteen sakkauttamispolymeerit koostuvat pääasiassa alumiinisuoloista, jotka lisäävät maalisakkaan oman kemiallisen osansa.

Suunniteltuja vaihtoehtoja olivat maalisakan tai -lietteen käyttäminen sellaisenaan tai hieman prosessoituna alempilaatuisten maalien pohja-aineena, raaka-aineiden tai yhdisteiden erottelu, tai jokin muu, vielä tuntematon käyttötarkoitus. Käytettäessä maalisakkaa tai -lietettä maalien pohja-aineena, maalista ylijäävät raaka-aineet ja yhdisteet palautuisivat suoraan takaisin maalinvalmistajille. Toisena vaihtoehtona harkittiin harvinaisempien raaka-aineiden ja yhdisteiden, kuten bariumin ja

titaanidioksidin erottelemista maalisakasta. Nämä yhdisteet voitaisiin käyttää hyväksi maalinvalmistajien, tai minkä tahansa muun kemianteollisuuden toimijan prosesseissa. Koska maalisakka sisältää sinkkiä, myös maalisakan jalostamista esimerkiksi maanparannusaineeksi pohdittiin. Lisäksi vaihtoehtoiksi jätettiin tarkemmin määrittelemätön muu käyttötarkoitus, joka voi pitää sisällään vaikkapa maalisakkaharkkojen käyttämisen sellaisenaan. Jätteenkäsittelyjärjestyksen (ks. esim. Levinen 2005) mukaisesti jäte voidaan muuttaa energiaksi polttamalla tai sijoittaa kaatopaikalle osaksi maaperää niissä tapauksissa, joissa jätteen hyödyntäminen materiaalina ei ole kannattavaa. Ekosysteemiin jätettiin tämän vuoksi vaihtoehto myös näille vähemmän suositelluille toimenpiteille, jos maalisakan tai -lietteen hyödyntäminen todetaan nykyteknologialla täysin kannattamattomaksi.



Kuva 11. Maalisakan hyödyntämisen alustava ekosysteemi.

Tässä yritysekosysteemissä on mukana hankkeessa olennaisena osana oleva Oulun yliopisto, joka pyrki kehittämään maalisakan hyödyntämiselle uusia kohteita monitieteisen osaamisensa avulla. Kuvassa 11 esitetty toimija käsittää esimerkiksi maalisakan uudesta käsittelystä vastaavan yrityksen, joka voi olla esimerkiksi jätteenkäsittelyyn ja kierrätystoimintaan erikoistunut yritys, tai mahdollisesti jokin innovoija.

4.2 Maalit ja maalisakka

Maalit ovat nestemäisiä, pastamaisia tai jauhemaisia pintakäsittelyaineita, jotka muodostavat maalattavalle pinnalle tarttuvan peittävän kalvon, joka suojaa pintaa ja vaikuttaa sen ulkonäköön. Maalituotteiden tärkein tehtävä onkin maalivalmistaja Tikkurilan (2008) mukaan ”suojata ja kaunistaa”. Maaleilla voidaan vähentää ratkaisevasti maalatun pinnan huoltotarvetta ja pidentää sen käyttöikää.

4.2.1 Maalin koostumus

Maalin koostumus voi vaihdella runsaasti käyttökohteen ja -tarkoituksen mukaan, mutta yleisiä perusainesosia ovat sideaine, pigmentti, liuotin, sekä lisä-, apu-, tai täyteaineet. Sideaineen tarkoituksena on sitoa ainesosat yhtenäiseksi kalvoksi ja kiinnittää maali maalattavaan pintaan. Maalityypit määritellään sideaineen mukaan, joista yleisimpiä ovat polymeeridispersiot ja öljyt. Sideaine määrää suurelta osin maalin tekniset ominaisuudet sekä tarvittavan liuottimen, jolloin sideaine voi olla merkittävässä asemassa maalin ympäristöystävällisyyden kannalta. Liuotin liuottaa maalin sideainetta ohentaen maalia ja tehden siitä juoksevampaa. Liuotin on myös se osa maalista, joka haihtuu maalin kuivuessa. Yleisesti liuottimina käytetään joko vettä tai orgaanisia liuotteita. Vesiohenteisissa maaleissa käytetään tavallisesti kalvonmuodostajaa, jolla parannetaan maalikalvon ominaisuuksia. Lisäaineisiin kuuluvat erilaiset kuivikkeet, täyteaineet ja säilöntäaineet. Näitä voidaan nimittää myös apu- tai täyteaineiksi ja niillä parannetaan esimerkiksi maalin valmistusvaiheen sujuvuutta, maalin työstettävyyttä, tai maalin kuivumisnopeutta. Pigmentit ovat hienojakoisia värijauheita, jotka peittävät maalattavan pinnan, antavat maalille värin, sekä lisäävät maalin säänkestävyyttä. Pigmentit voivat parantaa myös muita suojaominaisuuksia, kuten ruosteenesto-ominaisuuksia. Pigmentit voivat olla joko orgaanisia tai epäorgaanisia. Orgaaniset pigmentit voivat olla peräisin kasveista tai eläimistä ja ne ovat epäorgaanisia pigmenttejä kirkkaampia, mutta niitä heikommin peittäviä. Epäorgaaniset pigmentit taas voivat olla peräisin luonnosta saatavista raaka-aineista, kuten maa- ja mineraaliaineksista, tai ne voivat olla synteettisesti valmistettuja. Teollisuudessa käytetään pääasiassa pelkästään synteettisesti valmistettuja pigmenttejä, joiden etuna on värin ja rakenteen tasalaatuisuus. Näiden ominaisuuksien ansiosta tuotantoa on helpompi hallita. Täyteaineeksi sanotaan niitä pigmenttejä, jotka eivät peitä tai värjää, mutta joilla saadaan aikaiseksi toivottu himmeys. Ne koostuvat esimerkiksi kalkkikivestä, liidusta tai dolomiitista. Käytännössä kaikki pigmentit valmistetaan uusiutumattomista raaka-aineista, joita saadaan tavallisesti joko

louhimalla tai öljytuotteista. Varsinkin keltaisissa, ruskeissa, punaisissa ja mustissa maaleissa käytettävä rautaoksidi saadaan yleisesti kierrätetystä rautaromusta. Valkoisissa maaleissa käytetään titaanidioksidia. (Asu-Raag et al. 2012, s. 6 & 14; Tikkurila 2008)

4.2.2 Maaliliete ja maalisakka

Maalisakka on teollisten ruisku-, tai muiden maalausprosessien sivutuotteena syntyvää kiinteää ja melko inerttiä, vaaralliseksi luokiteltavaa jätettä, joka sisältää erityisesti pigmenttejä, sidosaineita ja vaahdonestoaineita, sekä jätemaalin käsittelyssä käytettyjä yhdisteitä, kuten veden- ja tahmeudenpoistajia. Maalisakkaa syntyy runsaasti erityisesti teollisten ruiskumaalausprosessin yhteydessä, sillä maalausprosessissa jopa 20–60 % maalista menee hukkaan ohiruiskutuksen yhteydessä, eli osa maalista ei päädy tuotteeseen asti, vaan jää ilmaan leijailemaan. Nämä ilmassa leijailevat maalihiukkaset imetään ilmasta virtaavan vesiverhon läpi, jolloin maalihiukkaset jäävät veteen. Tämä vesi ohjataan tavallisesti maalauskaapin tai -koneen yhteydessä sijaitsevaan lietealtaaseen. Ohiruiskutettua, tai esimerkiksi maalaamon pesemisen yhteydessä veteen sekoittunutta maalia kutsutaan maalilietteeksi. Lietealtaassa maalipartikkelit voidaan erotella maalilietteestä sakkauttamisen, eli flokkulaation avulla. Flokkulaatioissa kemikaalit sakkauttavat halutut partikkelit muodostaen näistä suurempia kokonaisuuksia, jolloin ne voidaan erotella helpommin vedestä. Jäljelle jäävä vesi voidaan laskea viemäriin, tai palauttaa maalausprosessin kiertoon maalausprosessin tyyppin mukaan. (Salihoglu & Salihoglu 2016, s. 223)

4.2.3 Maalisakan käsittely nykytilanteessa

Nykytilanteessa maalisakka mielletään ongelmajätteeksi, ja yleisimmät keinot sen käsittelemiseksi ovat sijoittaminen kaatopaikalle tai polttaminen. Polttamisesta jäljelle jäävä maalisakkatuhka on tilavuudeltaan vain noin kymmenesosan maalisakan tilavuudesta, mutta haitallisten yhdisteidensä vuoksi se on vielä kaatopaikkasijoituksen vaativaa ongelmajätettä.

Maalisakan ja maalilietteen käsittelyn kustannukset mielletään yleisesti korkeiksi, sillä esimerkiksi autoteollisuudessa ympäristövaikutusten kustannuksista n. 40 % voi muodostua vaarallisen jätteen käsittelyn kustannuksista, joista n. 60 % koostuu maalisakan käsittelyn kustannuksista (Salihoglu & Salihoglu 2016, s. 226).

4.3 Maalisakkaprosessien nykytila Suomessa

Maalisakkaa syntyy Suomessa vuosittain eri arvioiden mukaan 100–300 tonnia. Suomessa on runsaasti hajallaan olevia, maalaustoimintaa harjoittavia sahatavaran ja puutuotteiden valmistajia sekä jatkojalostajia, joten maalisakkaa syntyy käytännössä ympäri Suomen. Syntyvän maalisakan määrät vaihtelevat yrityksen koosta ja tuotannon tasosta riippuen, vaihdellen arviolta 1–3 maalisakkaharkkoa viikossa tuottavista pienemmistä yrityksistä jopa 10–20 harkkoa tuottaviin yrityksiin.

Yrityksiltä kerättyjen tietojen perusteella maalisakkaa syntyy viikkotasolla 100–600 kg yrityksestä riippuen. Maalisakkaprosessissa syntyvä harkko on mitoiltaan 400 x 600 x 100 mm, ja olemukseltaan se on kostea ja hauras. Mitoiltaan se vastaa siis hyvin pitkälti kansainvälisiä logistiikan kuljetusyksiköiden standardimittoja. Maalisakka kuljetetaan nykytilanteessa tyypillisesti päältä avonaisessa, lavapohjaisessa 1000 litran IBC-kontissa.

Maalisakan hävittämiselle on olemassa erilaisia käytänteitä yrityskohtaisesti, mutta yhteistä näille kaikille on maalisakan toimittaminen yritystä lähimpänä sijaitsevaan, maalisakkaa käsittelevään jätteenkäsittelylaitokseen. Käytännöt maalisakanhävitystiheydestä vaihtelevat yrityksittäin siten, että joissakin yrityksissä maalisakka hävitetään joka kuukausi, kun taas jossakin toisessa yrityksessä vain kolme kertaa vuodessa. Kuukausittain maalisakkaa hävittävillä yrityksillä käytettiin kuljetussopimuksia, jotka oli tehty paikallisten jätehuoltoyritysten kanssa. Harvemmin maalisakkaa hävittävällä yrityksellä jokainen kuljetus tilattiin erikseen, ja toimitettava määrä käsitti n. 11 IBC-konttia, joista kukin painoi arviolta n. 900 kg.

Erään suuren toimijan kustannukset maalisakan hävittämiselle olivat n. 15 000 € vuositasolla määrien ollessa vastaavasti 30 000 kg. Eriteltynä yhden kilon hävittämisen kustannusten arvioitiin olevan 0,48 €/kg, joka ei sisältänyt rahtia eikä arvonlisäveroa. Itse maalisakan hävittämisen kustannukset olivat siis n. 14 400 € vuositasolla. Tätä summaa voitaisiin pitää viitearvona hankkeen kannattavuuden arviointiin maalisakan hävittämisen osalta.

Maalisakan ominaisuudet vaihtelevat käytettyjen värien mukaan. Yrityksen käyttämistä maaleista riippuen erilaisia sävyjä voi olla jopa kymmeniä. Eri maaleista syntyviä maalisakkoja ei erotella toisistaan keräämisen yhteydessä, vaan kaikki kerätään yhteen käsittely-yksikköön. Maalisakka ja –liete ovat ongelmajätettä, mutta vain siinä

tapauksessa, että ne ajautuvat maaperään tai vesistöihin. Tällöin näiden kuljettamiselle ei aiheudu ylimääräisiä vaatimuksia, eli kyseiset aineet voitaisiin kuljettaa lähes minkä kuljetuksen joukossa tahansa. Maalin kuljettamisen ainoana ehtona on lämmitetty kuljetuskontti, mutta maalisakalla tätäkään vaatimusta ei ole. Maalisakan varastoinnissa sen sijaan on joitakin rajoittavia tekijöitä, sillä pitkäaikainen varastointi saattaa aiheuttaa maalisakan käymiseksi kutsutun ilmiön.

4.3.1 Rajoitteet ja esteet maalisakan hyödynnettävyydelle

Maalisakan tai maalilietteen hyödynnettävyyden kannalta esille nousi muutamia keskeisiä, varsinkin logistiikkaan ja jalostukseen liittyviä seikkoja, jotka voivat olla esteenä näiden hyödynnettävyydelle:

- Raaka-aineen riittävyys
 - Jos raaka-ainetta on riittävästi, kuinka laajalta alueelta se voitaisiin kerätä, jotta toiminta olisi kannattavaa.
- Hyödynnettävyyden kannattavuus
 - Vaikka raaka-ainetta olisi saatavilla riittävästi, onko sen jalostaminen taloudellisesti kannattavaa.
 - Vaikka maalisakkaa olisi saatavilla riittävästi ja prosessointi olisi kannattavaa, onko maalisakasta valmistetulle tuotteelle olemassa markkinoita.

Kuten kirjallisuuskatsauksenkin yhteydessä tuotiin esille, prosessit tarvitsevat tavallisesti toimiakseen riittävästi raaka-ainetta, jotta voitaisiin saavuttaa toiminnan kannattavuuden kannalta oleellisia mittakaavaetuja. Tämän vuoksi olisi syytä selvittää, kuinka laajalta alueelta maalisakka voitaisiin kerätä, jotta toiminta olisi kannattavaa ja toisaalta kuinka pienillä maalisakkamäärillä toimintaa voitaisiin pyörittää kannattavasti. Kysymyksenä oli myös, missä toiminta tulisi suorittaa, jotta näihin tavoitteisiin päästään. Case-esimerkkien yhteydessä esitelty vedenpuhdistuslaitoksen yhteyteen rakennettu lietteenpolttolaitos toimi hyvänä esimerkkinä siitä, kuinka tuotantotekniikkaa voidaan kehittää pienemmällä skaalalla toimivaksi ja saavuttaa tällä taloudellista hyötyä. Varsin keskeinen asia on myös se, onko maalisakasta valmistetulle tuotteelle olemassa markkinoita, vaikka logistiikan ja prosessoinnin kustannuksien osalta toiminta olisi kannattavaa.

4.3.2 Maalisakan jalostamispaikan sijoittaminen

Vaihtoehdot maalisakan tai maalilietteen uudelleenprosessoinnille ja toiminnan sijoittamiselle voisivat olla esimerkiksi seuraavat:

- Jalostus jokaisen maalaamon yhteydessä.
- Yhteinen jalostuslaitos useammalla, samalla alueella toimivalla yrityksellä.
- Maalisakan keräys ja käsittely esimerkiksi jätteenkäsittelylaitosten yhteydessä, josta toimitus maalisakan hyödyntäjälle.
- Maalisakan keräys ja käsittely maalisakan hyödyntäjän yhteyteen.

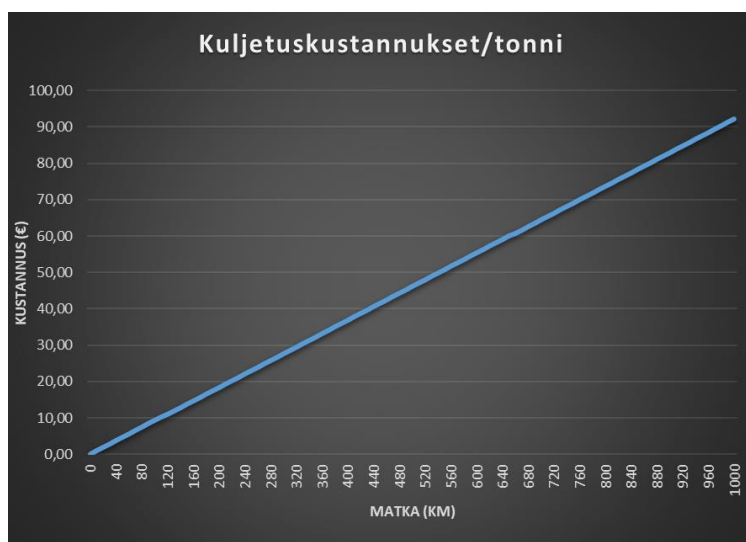
Jokaisessa kuvatussa vaihtoehdossa tasapainoillaan logistiikan ja maalisakan jalostuksen kustannusten välillä. Käytännössä ylimmässä vaihtoehdossa logistiikkakustannukset ovat pienimmät, kun taas maalisakan prosessoinnin kustannukset ovat suurimmat vaatien mahdollisesti riittävät volyymit. Toinen vaihtoehto toimii yritysekosysteemimäisemmin siten, että käsittely on keskitetty tietyn maantieteellisen alueen yrityksille. Kolmannessa vaihtoehdossa hyödynnetään olemassa olevaa jätteenkäsittelyn infrastruktuuria siltä osin, että yritysten näkökulmasta toimitaan kuten ennenkin: Maalisakka toimitetaan jätteenkäsittelyasemalle, jossa hävittämisen sijasta maalisakka jalostetaan joksikin muuksi tuotteeksi ja toimitetaan raaka-aineen kaltaisesti hyödyntäjälle. Neljäs vaihtoehto taas painottuu maalisakan jalostamiseen koko maan laajuisesti yhdessä pisteessä, jolloin toiminnan keskiössä ovat erilaiset logistiset ratkaisut. Tässä vaihtoehdoissa saavutetaan jalostamiselle suurimmat mittakaavaedut.

Periaatteessa jokainen näistä vaihtoehdoista sisältää logistiikkaa jossakin määrin. Vain kuljetettavan tuotteen arvo muuttuu sitä mukaa, kun tuotetta jalostetaan. Toisaalta ensimmäisessä ja toisessa vaihtoehdossa voidaan päästä minimaalisiin logistisiin kustannuksiin, jos jalostuksessa saatava tuote voidaan hyödyntää lähialueella, kuten case-esimerkkien yhteydessä esitellyn Metsä Fibren biotuotetehtaan tapauksessa tuotiin esille. Kuten terästehtaiden kuona-aineiden hyödyntämisen yhteydessä esitettiin, bulkkimaisten ja edullisten tuotteiden kuljettaminen voi lisätä lopputuotteen arvoa huomattavasti, joten käsittelypaikalla on väliä erityisesti logististen kustannusten vuoksi.

4.4 Maalisakan logistiikka ja arvoketjut

4.4.1 Kuljetuskustannukset

Maalisakasta valmistetun lopputuotteen hintaan vaikuttavat erityisesti logistiikan ja maalisakan prosessoinnin kustannukset. Kuvassa 12 on esitettyä karkea laskelma yhden tonnin kuljetuskustannuksista maantiekuljetuksena kilometrikohtaisesti. Yhden tonnin voidaan ajatella laskennallisesti vastaavan yhtä lavapaikkaa kuljetuksessa. Kustannukset on laskettu ilman mahdollista kuljetusliikkeen katetta ja polttoaineen arvonlisäveroa. Kuljetuksen kokonaiskustannuksen muodostavat pääasiassa kuljetukseen sitoutuvat muuttuvat ja kiinteät kustannukset, joita ovat esimerkiksi kaluston pääoma-, rengas- huolto- ja polttoainekustannukset, sekä kuljettajien palkat. Tarkemmat laskentaperusteet on esitetty liitteessä 2. (Tervonen et al. 2010, s. 23)

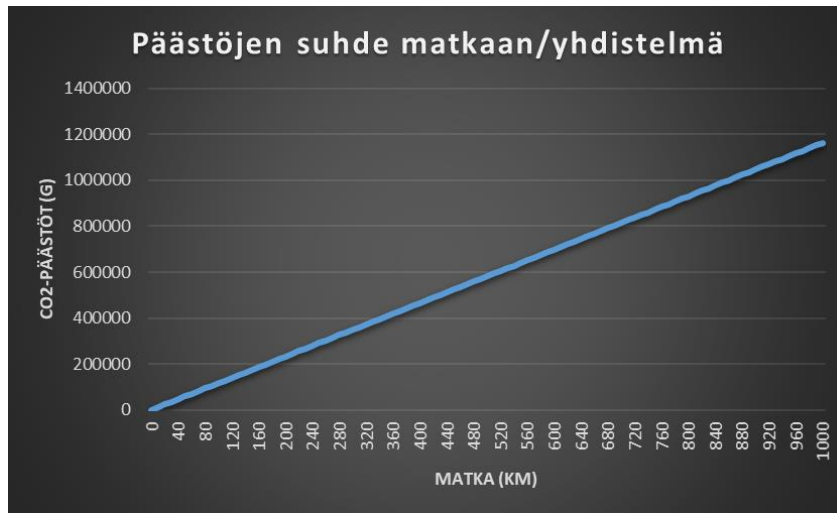


Kuva 12. Kuljetuskustannukset tonnia kohti.

Kuvassa 12 on esitetty laskelmat kuljetussuoritteeseen tonnia kohti 40 tonnin hyötykuormalla. Kuvaajasta havaitaan, että 1000 km, tai laskennallisesti yhden lavapaikan, kuljettamisen kustannukset tonnia kohti ovat alle 100 euroa. Tonnikohtaiset kuljetuskustannukset luonnollisesti laskevat hyötykuorman lisääntyessä ja vastaavasti kasvavat silloin, kun kuljetettavat määrät ovat pienempiä. Laskelmien mukaan noin 600 kilometrin kuljetuskustannus, eli keskimääräinen matka Oulun ja Helsingin välillä, on n. 55 euron luokkaa. Hinta ei sisällä arvonlisäveroa eikä katetta, joten todellisuudessa keskimääräisenä hintana kuljetuksille voidaan pitää n. 100 euroa. Tätä arvoa voidaan käyttää eri vaihtoehtojen logistiikkakustannusten laskemiseen.

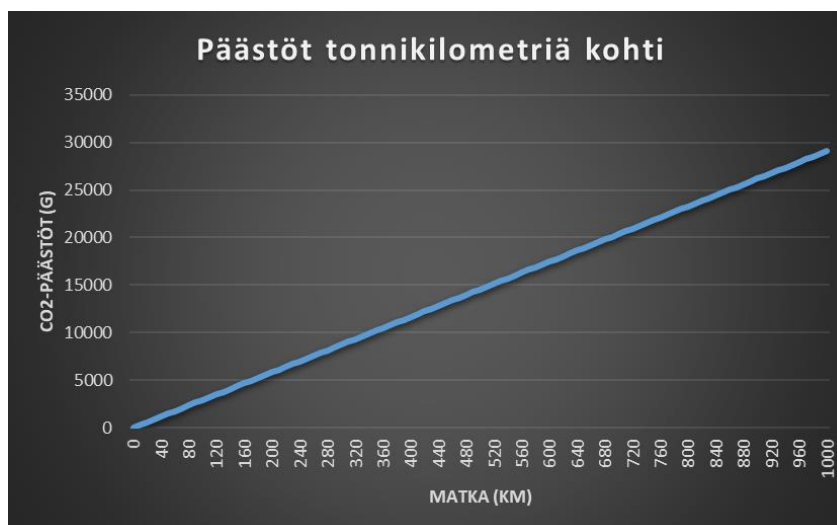
4.4.2 Kuljetusten aiheuttamat päästöt

Koska maantiekuljetuksissa käytetään pääasiassa fossiilisia polttoaineita, synnyttävät kuljetukset myös päästöjä alla esitettyjen kuvien 13 ja 14 mukaisesti. Kuvassa 13 on esitetty kokonaisen täysperävaunuyhdistelmän synnyttämät CO₂, eli hiilidioksidipäästöt grammoina 40 tonnin hyötykuormalla kullakin etäisyydellä. laskennassa on käytetty nykyaikaisen EURO VI-päästöluokituksen päästöarvoja. (VTT 2017)



Kuva 13. Yhdistelmän synnyttämät CO₂-päästöt.

Kuva 14 esittää puolestaan yhden tonnin kuljettamiseen kohdistuvia hiilidioksidipäästöjä. Esimerkiksi 360 kilometrin matkalla päästöjä CO₂-päästöjä syntyy n. 10000 grammaa.



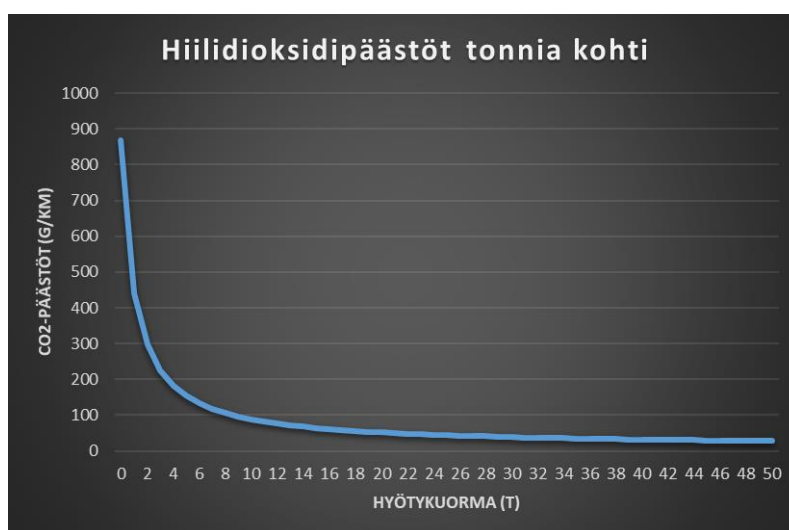
Kuva 14. CO₂-päästöt kuljetettua tonnia kohti.

Kuvassa 15 on esitettyä hiilidioksidipäästöjen kasvaminen hyötykuorman kasvaessa. Ero tyhjän ja täyteen kuormatun kaluston välillä n. 600 g kilometriä kohti, mutta huomattavaa on, kuinka pieni hiilidioksidipäästöjen lisäys on yhden tonnin lisäyksellä, joka on n. 10 g kilometriä kohti. Tyhjällä kalustolla operointi synnyttää jo itsessään hiilidioksidipäästöjä, jolloin ympäristön kannalta päästöjä on tuotettu turhaan.



Kuva 15. Hiilidioksidipäästöjen lisäys kuorman koon kasvaessa.

Toisaalta jokaiseen kuljetettuun tonniin sitoutuneet hiilidioksidipäästöt laskevat eksponentiaalisesti kuvan 16 mukaisesti. Tämä tarkoittaa siis sitä, että vaikka kuljetuksella tuotetaan suuremmalla kuormalla ajettaessa enemmän hiilidioksidipäästöjä, päästöt jakautuvat tasaisesti kuljetettavan kuorman kesken.



Kuva 16. Hiilidioksidipäästöt kuljetettua tonnia kohti.

Yhtenä tavoitteena kiertotaloudellisissa ratkaisuissa pidetään yleisesti kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä, jonka vuoksi tuotteen elinkaarenaikaiset hiilidioksidipäästöt tulee ottaa huomioon suunniteltaessa kiertotaloudellisia prosesseja. Jos prosessissa siis syntyy kohtuuttomia määriä kasvihuonekaasupäästöjä, voidaan hankkeen ekologisuutta pitää hieman kyseenalaisena.

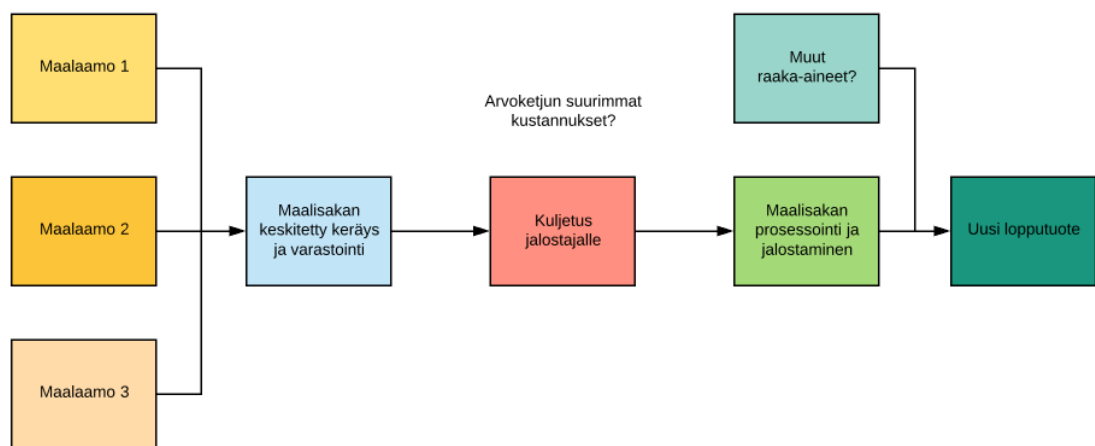
4.4.3 Maalisakan varastointi

Logistiikkaan olennaisesti liittyvä varastointi tulee hyvin todennäköisesti kysymykseen käsiteltäessä maalisakkaa raaka-aineena, sillä tuotettavat määrät ovat melko pieniä, joten varastoimalla maalisakkaa keskitetysti voidaan saavuttaa suurempia täyttöasteita kuljetuksille. Yritysten tiloissa ongelmajätteeksi mielletyn raaka-aineen varastointi ei ole mielekästä kovin pitkiä aikoja esimerkiksi lainsäädännöllisten seikkojen, tilojen turhan käytön tai yleisen viihtyvyyden vuoksi, joten varastointi kuljetusten täyttöasteen kasvattamiseksi on mahdollisesti tehtävä muualla. Maalisakassa esiintyy myös käymisreaktiota useiden kuukausien varastoinnin seurauksena, joten maalisakkaa ei voida varastoida loputtomiin.

Potentiaalinen paikka varastoinnille olisi todennäköisesti jätteenkäsittelylaitos, jolla on olemassa olevat luvat ja infrastruktuuri ongelmajätteiden käsittelyyn ja varastointiin. Maalisakan varastointi ei aiheuttane logistiikkaketjun tässä vaiheessa muita kustannuksia, kuin mitä siihen on sitoutunut maalaamoilta keräämisen yhteydessä. Tämä on tosin rinnasteinen siihen kustannukseen, joka nykytilanteessa syntyy toimitettaessa maalisakkaa jätteenkäsittelylaitokselle jätteen muodossa. Ylimääräisiä kustannuksia aiheuttanee maalisakan varastointi itsessään, jos se vaatii varastotiloja tai vaikkapa säädeltyjä olosuhteita. Toinen hyvin todennäköinen varastoinnin piste on maalisakan hyödyntäjän päässä, sillä joidenkin tuotannollisten prosessien kannattavuuden edellytyksenä ovat riittävä raaka-ainemäärä ja taloudellisen tuotantoerän valmistaminen. Maalisakkaan ovat sitoutuneet tässä vaiheessa ainakin kuljetuksista ja välivarastoinnista aiheutuneet kustannukset, jotka ovat täysin riippuvaisia kuljetusmatkojen pituuksista ja varastointiajan kestosta, sekä mahdollisen kuljetusyksikön ja -kaluston täyttöasteista.

4.4.4 Maalisakan jalostamisen arvoketjun kuvaus

Maalisakan logistiikka ja uuden kiertotaloustuotteen mahdollisen arvonlisäyksen vaiheet on kuvattuna alla olevassa kuvassa 17. Mallissa suurimmat maalisakan hintaa lisäävät vaiheet ovat oletettavasti ”kuljetus jalostajalle” sekä ”maalisakan prosessointi ja jalostaminen”, joiden voidaan siis olettaa olevan suurimmat kannattavuuteen vaikuttavat tekijät. Arvoketjussa on syytä ottaa huomioon myös se, että uuden, kiertotaloudellisen lopputuotteen valmistamiseen voidaan tarvita myös muita raaka-aineita, joilla on omat arvoketjunsä. Ideaalitulanteessa myös nämä muut aineet noudattavat kiertotalouden periaatteita, jotta lopputuote on varmasti kiertotaloudellinen.



Kuva 17. Maalisakan jalostumisen arvoketju.

Kiertotaloustuotteen arvoketju poikkeaa vastaavan kaltaisten perinteisempien ja vakiintuneempien tuotteiden arvoketjusta pääasiassa raaka-aineen roolin osalta: kiertotaloudellisessa ratkaisussa raaka-aine on valmiina, mutta sille on löydettävä käyttökohde sekä arvoketju, jolla toiminta on kannattavaa, eikä lopputuotteen arvo kohoa liian suureksi. Perinteisemmissä ratkaisuissa lopputuote määrittää raaka-aineen tarpeen, eli lopputuotteelle on olemassa markkinat. Valmistaja voi kilpailuttaa raaka-aineen toimittajat ja hankkia raaka-aineen kenties toimittajalta, jolta hankittaessa kokonaiskustannukset eivät kohoa liian suuriksi lopputuotteen lopulliseen arvoon nähden. Kullakin raaka-aineella on luonnollisesti oma arvoketjunsä, joka määrittää kunkin raaka-aineen hinnan. Logistiikan toimittajalta jalostajalle voidaan olettaa olevan osa toimittajan lähtö- ja jalostajan tulologistiikkaa. Molempien lopputuotteiden lähtölogistiikan, eli pääasiassa jakelun, voidaan ajatella olevan ainakin lähes vastaavia. Sama koskee todennäköisesti myynnin ja markkinoinnin toimintoja.

4.5 Maalisakan potentiaaliset hyödyntämiskohteet

4.5.1 Eri käyttökohteet kirjallisuudessa

Maalilietettä ja maalisakkaa on suositeltu useassa lähteessä käytettäväksi erityisesti uusien maalien ja vastaavien kemiallisten tuotteiden pohja-aineena ja näitä on jossain määrin käytettykin varsin hyvin tuloksin, mutta tämänkaltaiseen kiertotalouden ratkaisuun siirtyminen ei kuitenkaan ole ollut täysin mutkatonta: Eräänä suurena ongelmana ovat olleet ihmisten asenteet kierrätetyn tuotteen käyttämiseksi uuden tuotteen viimeistelyyn. Maalisakan ominaisuudet, kuten väri ja kemiallinen koostumus vaihtelevat myös käytetyn maalin mukaan, eli aines ei ole homogeenistä. (Burande 2017, s. 513; Salihoglu & Salihoglu 2016, s. 223–224)

Nestemäisen maalilietteen käyttöä sellaisenaan rakennusaineiden komponentteina, kuten betonissa, sementissä, laastissa ja asfaltissa on myös tutkittu. Joidenkin betonilaatujen seassa maaliliete voi korvata betoninvalmistuksessa käytettävää vettä vaikuttamatta merkittävästi valmiin betonin ominaisuuksiin. Bitumiin sekoitettuna maalilietteen on sanottu jopa parantavan päällystettyjen teiden vesitiiviyyttä, joka pidentää teiden elinkaarta vähentämällä kuoppien muodostumista. Toisaalta on myös esitetty, että maaliliete voisi haurastuttaa rakennusmateriaaleja tai päästää ilmaan myrkyllisiä kaasuja. (Burande 2017, s. 513; Salihoglu & Salihoglu 2016, s. 223–224)

Lisäksi kirjallisuudessa on käsitelty esimerkiksi maalilietteen sementtiuunipolttoa ja käyttämistä osana sementtiä, sekä laboratorio-olosuhteissa testattua maalilietteen pyrolyysia. Sementtiuunipoltto on yleinen ja maailmanlaajuisesti käytetty ympäristöystävällinen, ekologinen, turvallinen ja tehokas menetelmä ongelmajätteiden hävitykseen. Ongelmajätteiden tuoman lisäenergian ansiosta sementtiuunissa tarvitaan vähemmän muita polttoaineita. Sementtiuunin korkean lämpötilan ansiosta maalisakka tuhoutuu täydellisesti tai se sitoutuu osaksi sementtiä, ja sen aiheuttamat päästöt neutraloituvat muiden uunissa käytettävien polttoaineiden vaikutuksesta. Maalisakkaa voitaisiinkin käyttää tässä vaihtoehdossa sementin raaka-aineena korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita, kuten kalkkikiveä, kuin myös ylimääräisenä energianlähteenä. (Gautam et al. 2010; Tiwary et al. 2014, s. 6–7)

Pyrolyysi on kemiallinen hapetusreaktio, joka tapahtuu kuumentamalla aineita hapettomissa olosuhteissa. Maalilietteen pyrolyysireaktiolla voidaan tuottaa palavaa kaasua, nestettä ja inerttiä kiinteää ainetta. Näitä nesteitä ja kaasuja voidaan käyttää kaupallisesti liuottimina ja palavina kaasuina. Inertti kiinteä jäljelle jäävä massa on jäännösjätettä, josta voidaan mahdollisesti erotella titaanidioksidia. Prosessissa alkuperäisen jätteen määrä vähenee keskimäärin neljännesosaan alkuperäisestä määrästä. (Muniz et al. 2003, s. 63–64; Rosli et al. 2018, s. 1–2.)

Eräänä kokeellisena ratkaisuna maalisakan hyödyntämiselle voisi olla maalisakan käyttäminen kemiallisten katalyyttien tukiaineena. Varsinkin alumiinin, piin ja titaanin käyttämistä tukiaineina on tutkittu (Romar et al. 2016, s. 33). Maalisakka sisältää kaikkia näitä raaka-aineita varsin huomattavia määriä. Katalyytit ovat aineita, jotka nopeuttavat tai hidastavat kemiallisia reaktioita osallistumatta niihin itse, eli ne eivät kulu reaktioissa (Tieteen termipankki 2020). Tukiaineet ovat puolestaan halpoja ja inerttejä materiaaleja, joiden pintaan varsinainen katalyytti kiinnitetään. Tukiaineet voivat myös osaltaan toimia katalyytin tavoin. (Romar et al. 2016, s. 33)

4.5.2 Vaihtoehtoisten hyödyntämiskohteiden alustava vertailu

Taulukossa 4 on esitettyä vertailu maalisakan tai -lietteen uusista käyttökohteista liiketoimintatapa-analyysin periaatteita soveltaen. Vaihtoehdot on valittu hankkeen yhteydessä ehdotetuista, tai kirjallisuudessa esiintyneistä vaihtoehtoista, ja tavoitteena on valita näistä parhaimmat vaihtoehdot tarkempaan käsittelyyn. Yhteistä jokaiselle ratkaisulle on maalisakan kestävämmän hävittämisen korvaaminen kestävämmillä menetelmillä sekä maalisakan hävittämisen kustannusten pieneneminen tai poistuminen kokonaan. Tämän vuoksi analyysissä on keskitytty pelkästään kunkin ratkaisun ainutlaatuisiin ominaisuuksiin.

Maalisakan käyttökohteen voidaan ajatella olevan sitä parempi, mitä enemmän ”viivan alle” jää, eli katetta syntyy. Tähän vaikuttavat siis pääasiassa maaliskankäsittelyn arvotoimintojen, eli logistiikan ja mahdollisen jalostuksen kustannukset, sekä jalosteesta saatavat taloudelliset hyödyt, joten näille on annettu suurin painoarvo vertailussa.

Taulukko 4. Maalisakan eri käyttökohteiden vertailua.

Ratkaisu	Mahdollisuudet	Haasteet	Kustannukset
Komponenttien erottelu maalisakasta tai maalilietteen pyrolyysi	<ul style="list-style-type: none"> + Raaka-aineet uuteen käyttöön + Eri aineiden markkinapotentiaali + Kiertotaloudellinen ratkaisu 	<ul style="list-style-type: none"> – Hinta? – Komponenttien ja aineiden erottelun mahdollisuudet 	Investointi uuteen teknologiaan, erottelun kustannukset, kuljetuskustannukset
Lietteenä rakennusmateriaaleissa	<ul style="list-style-type: none"> + Käytettävissä sellaisenaan + Käyttöpaikkoja mahdollisesti ympäri Suomen 	<ul style="list-style-type: none"> – Sopivuus eri materiaaleille – Vaikutukset ympäristöön? – Lainsäädäntö? – Kierrättäminen elinkaaren loppupäässä? 	Kustannukset pääasiassa kuljettamisesta, lietteellä n. 5 kertaa korkeammat kustannukset kuin sakalla.
Yhteispoltto sementtiuunissa	<ul style="list-style-type: none"> + Ongelmajätteen hävittäminen täydellisesti + Muiden polttoaineiden vähäisempi tarve + Neitseellisten raaka-aineiden korvaaminen + Menetelmä on käytössä joissakin maissa 	<ul style="list-style-type: none"> – Materiaalista ei saada ehkä täyttä hyötyä – Alhainen arvonlisäys 	Kuljetuskustannukset sementtitehtaalte
Kierrätysmaalin raaka-aineena	<ul style="list-style-type: none"> + Kiertotaloudellinen ratkaisu + Korkea jalostusarvo + Käytettävissä mahdollisesti lähes sellaisenaan 	<ul style="list-style-type: none"> – Muutokset prosesseihin? – Kierrätysmaalin markkinat? – Rajoitetut värivalikoimat – Lisäaineiden tarve 	Kustannukset mahdollisista prosessimuutoksista ja prosessoinnista sekä kuljetuksesta
Kemiallisen katalyytin tukiaineena	<ul style="list-style-type: none"> + Kiertotaloudellinen ratkaisu + Korkean jalostusarvon tuote 	<ul style="list-style-type: none"> – Vasta kokeiluasteella – Eri yhdisteitä testattu vain erikseen, ei yhdessä. – Kuinka suuret markkinat on olemassa? 	Kustannukset oletettavasti pääasiassa logistiikasta

Luetelluista vaihtoehtoista lähes jokaisella on oletettavasti jonkinlaista liiketoimintapotentialiaa, joten kannattavuuteen vaikuttavat tällöin prosessoinnin ja logistiikan kokonaiskustannukset. Kannattavin vaihtoehto on siis sellainen, jossa maalisakkaa voidaan käyttää lähes sellaisenaan riittävän lähellä maalisakan syntypaikkaan nähden ja jalosteen mahdollisesta myynnistä saadaan tuottoa. Tämä voidaan esittää yksinkertaistettuna alla olevalla kaavalla:

$$Kate = Tuotot - Arvotoiminnot$$

Kannattava vaihtoehto maalisakan tuottajan näkökulmasta voi tosin olla myös sellainen, jossa maalisakan hävittämisen kustannukset ovat pienemmät kuin ne ovat nykytilanteessa. Maalisakalla ei siis pyritäisi synnyttämään voittoa, vaan pienentämään maalisakansynnyttäjän kustannuksia hävittämisen osalta.

Tavoiteltavaa on myös ekologinen arvo, eli maalisakkaa ei käsitettäisi jatkossa ongelmajätteenä, vaan se olisi raaka-ainetta jollekin muulle prosessille, tai vaihtoehtoisesti se voitaisiin hävittää siten, ettei siitä jäisi haitallista loppusijoitettavaa materiaalia jäljelle.

Kiertotalouden periaatteiden ja jätteenkäsittelyhierarkian mukaisesti jäte tulisi käyttää ensisijaisesti materiaalina ja vasta toissijaisesti energiana, mutta toisaalta hävittäminen on sallittua siinä tapauksessa, etteivät muut vaihtoehdot ole yksinkertaisesti kannattavia tai mahdollisia. Taulukossa 4 esitellyistä vaihtoehtoista jokainen vaihtoehto edustaa jätehierarkian 4R-mallin vaihtoehtoista kahta keskimmäistä kohtaa, eli ”käytä uudelleen” ja ”kierrätä”. Maalisakan käyttämisen kierrätysmaalissa voidaan käsittää olevan uudelleenkäyttämistä, sillä maalisakka palautuu takaisin ainakin lähes samanlaiseen muotoon. Toisaalta tässä vaihtoehdossa maalisakkaan voidaan joutua lisäämään joitakin lisäaineita laadun parantamiseksi, jolloin voidaan puhua myös kiertotalouden termein uudelleenvalmistamisesta. Muut vaihtoehdot noudattavat pitkälti kierrättämisen periaatteita, sillä maalisakan sisältämät aineet ja yhdisteet käytetään jossakin muussa materiaalissa.

5 TUTKIMUSTULOKSET

Maalisakkaa analysoitiin XRF-analyysillä, jonka tuloksena saatiin selville maalisakan sisältämät aineet ja yhdisteet liitteen 1 mukaisesti. Maalisakka sisältää runsaasti erilaisia raaka-aineita ja yhdisteitä, joista yleisimpänä hiiltä, titaanidioksidia ja alumiinia. Erilaiset maalisakan käyttökohteet voidaan nähdä eriarvoisina riippuen siitä, kuinka paljon näihin on tuotu panoksia ja millaisella hinnalla nämä voidaan myydä eteenpäin. Lopulliseen analysointiin valittiin seuraavat vaihtoehdot oletetusti saatavien hyötyjen vuoksi:

- Komponenttien erottelu maalisakasta
- Kemiallisen katalyytin tukiaineena
- Yhteispoltto sementtiuunissa
- Käyttäminen uusien maalien pohja-aineena.

Vaihtoehtoista rajattiin siis maalilietteen käyttäminen rakennusmateriaaleissa, sillä tähän vaihtoehtoon liittyi runsaasti erilaisia epävarmuustekijöitä. Tälle vaihtoehdolle ominaista olisi ollut myös maalilietteen käyttäminen maalisakan sijasta, jolloin kuljetuskustannukset olisivat olleet korkeat, vaikka mahdollisia hyödyntämiskohteita olisikin voinut olla ympäri Suomen. Myös maalilietteen pyrolyysi jätettiin vaihtoehtoista, sillä menetelmää on testattu vain laboratorio-olosuhteissa, ja oletettavasti teollisen mittakaavan tuotanto olisi kallista. Kokeellisista ja mahdollisesti korkeimman jalostusarvon tuotteista valittiin maalisakan käyttäminen kemiallisten katalyyttien tukiaineena. Seuraavaksi esitellään kukin vaihtoehto yksityiskohtaisesti.

5.1 Komponenttien erottelu maalisakasta

Eräs tutkimushankkeen alustavista vaihtoehtoista käsitteli joidenkin komponenttien erottelusta maalisakasta. Näitä komponentteja olivat varsinkin harvinaisemmat tai vaikeammin saatavissa olevat aineet ja yhdisteet, kuten barium ja titaanidioksidi. Myös alumiinin erottelusta pohdittiin vaihtoehtona sen runsauden vuoksi. Titaanidioksidi on etenkin valkoisten maalien pigmenttiaineena käytettävää yhdistettä, joka on ympäristölle ja terveydelle turvallista materiaalia, mutta ongelmia aiheuttavat materiaalin valmistukseen kuluva runsas energiamäärä, sekä valmistuksesta aiheutuvat suuret jätemäärät. Titaanidioksidia näytteet sisälsivät näytteestä riippuen n. 10–20 %, eli keskimäärin melko huomattavan määrän. Barium on puolestaan myrkyllistä alkuainetta,

jota maalisakkanäytteet sisälsivät keskimäärin n. 0,016 %, eli määrä oli huomattavan vähäinen.

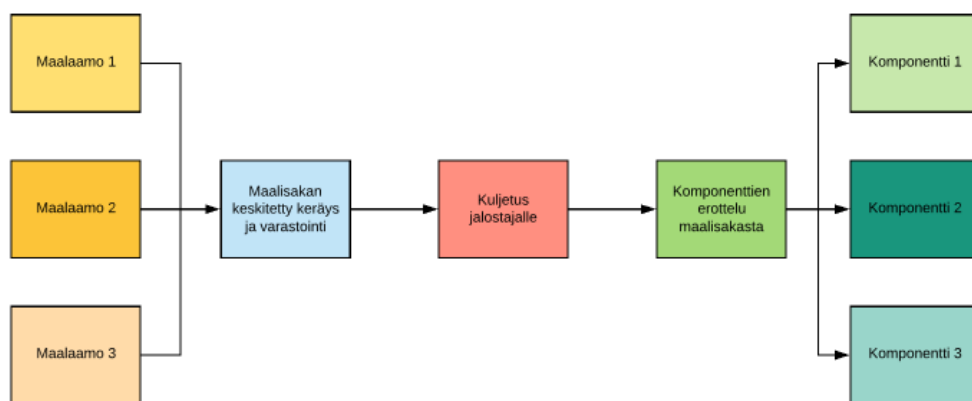
Maalinvalmistuksessa käytettävä barium toimitetaan maalinvalmistajille bariumsulfaattina, jonka hinta on asiantuntijoiden mukaan noin 5 €/kg. Jotta bariumin erottelu maalisakasta olisi kannattavaa, prosessoinnin ja logistiikan kustannusten tulisi olla tätä alhaisemmat. XRF-analyysillä tutkittujen maalisakkanäytteiden n. 0,016 % bariumpitoisuuden vuoksi maalisakkaa tarvittaisiin jopa 6250 kg yhteen kiloon bariumia. Koska maalisakkaa syntyy melko pieniä määriä eri puolilla Suomea, pelkästään sakan logistiikkakustannukset tekisivät bariumin erottelemisesta kannattamatonta. Maalisakka on myös hyvin inerttiä, eli sen sisältämät yhdisteet ovat vaikeasti erotettavissa toisistaan. Pienen pitoisuuden vuoksi aineita ei ole syytä erottaa toisistaan, sillä erotusprosessi tulisi todennäköisesti hyvin kalliiksi.

Alumiinin ja titaanidioksidin määrät olivat molemmat keskimäärin n. 17 % luokkaa, joten näiden aineiden erottelun mahdollisuudet voisivat olla perustellummat, sillä maalisakkaa tarvittaisiin vain n. 5,9 kiloa titaanidioksidi- ja alumiinikiloa kohti. Varsinkin titaanidioksidin erottelemista maalisakasta tukee tieto siitä, että louhiminen ja prosessointi synnyttävät runsaasti päästöjä, jolloin sen käyttäminen uudelleen olisi myös ekoteko. Neitseellisen titaanidioksidin hintana voidaan pitää noin 3 €/kg, joten maalisakan titaanidioksidipitoisuuden ollessa 17 %, 1000 kiloa maalisakkaa voisi sisältää jopa 500 euron arvosta titaanidioksidia. Toiminnan kannattavuuden taustalla ovat kuitenkin logistiikan sekä maalisakan prosessoinnin kustannukset, mutta myös mahdolliset investoinnin kustannukset uuteen teknologiaan.

Maalisakan alumiinipitoisuuden aiheuttavat sakkauttamispolymeerin sisältämät alumiinisuolet, eivätkä maalit itsessään sisällä ainakaan suuria pitoisuuksia alumiinia. Alumiinin hinta on keskimäärin n. 1,5 €/kg, ja se on erittäin yleinen bulkkimetalli, jota on hyvin saatavilla. Ainoastaan erottelun kustannusten osoittautuessa edulliseksi hyödyntämistä sivutuotteena voidaan harkita, jos maalisakasta erotellaan muitakin aineita. Kustannuksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon jokaisen yksittäisen komponentin erottelusta mahdollisesti aiheutuvat kustannukset ja saavutettavat hyödyt.

Komponenttien erottelun voidaan olettaa noudattavan suunnilleen kuvassa 18 esitettyä, yksinkertaistettua arvoketjua maalisakan logistiikan ja prosessoinnin osalta. Ketjussa eniten kustannuksia tuottanevat ketjun keskivaiheen toiminnot maalisakan keräyksestä ja

varastoinnista kuljetukseen, ja siitä edelleen komponenttien erottelemiseen. Jalostuksen kustannukset eivät pääty kuvassa esitettyihin erillisiin komponentteihin, vaan ne vaativat vielä tämän jälkeen todennäköisesti hieman kustannuksia esimerkiksi pakkaamisen, varastoinnin ja jakelun muodossa, jos raaka-aineita ei voida käyttää hyväksi omissa prosesseissa. Katetta toiminnalle syntyy kunkin komponentin myymisen, tai säästyneiden kustannusten seurauksena. Vaikka maalisakasta voitaisiin erotella useaa eri komponenttia, täytyy ottaa huomioon, että jokaisen komponentin erottelu voi vaatia omalaisiaan prosesseja, eli maalisakan suuremmalla hyödynnettävyydellä ei päästä välttämättä ainakaan kovin suuriin mittakaavaetuihin. Koko arvoketjun myötä kuhunkin komponenttiin sitoutuu todennäköisesti niin runsaasti arvoa, että näiden hinta ylittää neitseellisempien, tai muiden jo markkinoilla olevien vastaavien raaka-aineiden hinnan. Tilanteen voidaan siis ajatella olevan sellainen, että maalisakassa on arvokkaitakin raaka-aineita, mutta niiden erottelu ei ole välttämättä kannattavaa.



Kuva 18. Komponenttien erottelu maalisakasta.

Vaikka komponenttien erottelu maalisakasta vaikuttaakin tänä päivänä kannattamattomalta idealta, tilanne voi olla täysin erilainen tulevaisuudessa, jos jonkin maalissa käytetyn raaka-aineen hinta nousee yllättäen ja voidaan olettaa, että tulevaisuuden maaleissa käytetään yhä samoja raaka-aineita. Jätteenkäsittelyn lähitulevaisuutta maalailevassa ja kiertotaloutta edistävässä valtakunnallisessa jättesuunnitelmassa (Laaksonen et al. 2018, s. 11–12) eräänä kohtana mainittiin, että *”kierrätysmateriaaleista saadaan eroteltua myös pieninä pitoisuuksina esiintyviä materiaaleja”*. Samaa on maininnut myös Stahel (esim. 2016, s. 436 & 2019, s. 7), joka on esittänyt materiaaleille jopa atomitasoisen erittelyn kierrätyksen yhteydessä, joten kiertotalouden ja tekniikan yhä kehittyessä eri raaka-aineet voidaan erotella toisistaan ja käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi.

5.2 Maalisakka kemiallisten katalyyttien tukiaineena

Eräänä kokeellisena ratkaisuna maalisakalle ehdotettiin maalisakan käyttämistä kemiallisten katalyyttien tukiaineena. Katalyytit ovat aineita, jotka nopeuttavat tai hidastavat kemiallisia reaktioita osallistumatta niihin itse, eli ne eivät kulu reaktioissa (Tieteen termipankki 2020). Tukiaineet ovat puolestaan halpoja ja inerttejä materiaaleja, joiden pintaan varsinainen katalyytti kiinnitetään. Tukiaineet voivat myös osaltaan toimia katalyytin tavoin.

Varsinkin alumiinin, piin ja titaatin käyttöä on testattu katalyytin tukiaineina siten, että näiden pintaan on kiinnitetty katalyyttinä toimivaa kobolttia. Tätä katalyyttia voidaan käyttää niin kutsutussa Fischer-Tropsch -reaktiossa, jonka avulla voidaan valmistaa hiilivetyjä erilaisista synteetikaasuista. Menetelmällä voitaisiin siis valmistaa liikennekäyttöön sopivia polttoaineita, kuten dieseliä. (Romar et al. 2016, s. 33 & 41) Maalisakka voisi soveltua katalyytin tukiaineeksi, sillä se on inerttiä materiaalia sisältäen melko huomattavia pitoisuuksia kaikkia edellä mainittuja raaka-aineita (Pesonen 2020). Liitteessä 1 esitettyjen XRF-mittausten mukaan maalisakka sisältää keskimäärin 17 % alumiinia (Al_2O_3) sekä titaania (TiO_2). Piitä (SiO_2) maalisakka sisältää n. 7 %.

Toimiessaan tällä ratkaisulla voisi olla kaikista merkittävin hyödyntämispotentiaali ja tuotteena se voisi olla hyvinkin korkean jalostusarvon tuote. Ratkaisu maalisakan käyttämisestä kemiallisena katalyyttinä on kuitenkin vain ideatason ratkaisu, eikä ole täysin selvää, toimivatko yksittäin testatut yhdisteet yhdessä. Lisäselvitystä siis vaaditaan laboratoriokokeiden muodossa. (Pesonen 2020)

On myös epäselvää, kuinka suuret markkinat tällä tuotteella voisi olla. Tuotannon keskittämisen tai hajauttamisen tarve on myös epäselvä. Oletettavaa on kuitenkin, että maalisakan prosessoinnin kustannukset ovat pienet. Koska myös oletettu tuotteen hinta on korkea, maalisakasta saatava hyöty voisi olla huomattavakin korkea.

5.3 Maalisakan yhteispoltto sementtiuunissa

Maalisakan, tai yleisemmin maalilietteen polttaminen sementtiuunissa on useassa maassa käytössä oleva menetelmä maalijätteiden hävittämiseksi. Sementtiuunipoltolla hävitetään maailmanlaajuisesti myös monia muita ongelmallisia jätteitä. Suomalaisissa sementtitehtaissa menetelmää ei kuitenkaan tunneta, tai se ei ole ainakaan yleisesti käytössä.

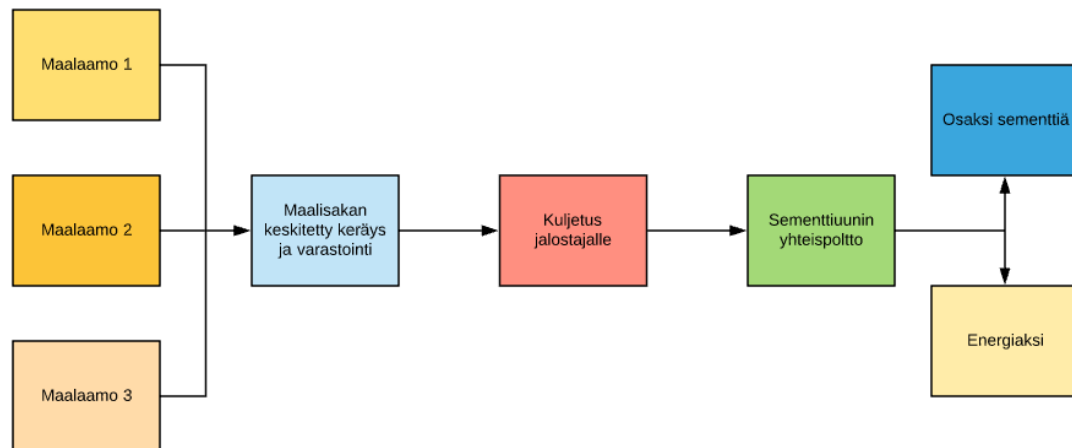
Poltettaessa maalisakka sementtiuunissa voidaan yleisesti ottaen säästää neitseellisiä materiaaleja sekä muita polttoaineita. Sementtiuunissa poltettaessa maalisakka sitoutuu osaksi sementtiä, eikä ainakaan maalilietteen sanota aiheuttavan ainakaan merkittävää haittaa lopputuotteen ominaisuuksille. Maalisakan sisältämän alumiinisuoloan sanotaan voivan jopa parantaa lopputuotteen ominaisuuksia. Sementtiuunikäsittely ei myöskään vaadi muita raaka-aineita tai prosessointeja, joten ainoat kustannukset syntyvät mahdollisesti logistiikasta. Suomessa tuotettavat maalisakkamäärät ovat kuitenkin verrattain pieniä, joten polttoaineen tai raaka-aineen korvaaminen olisi tässä vaihtoehdossa hyvin nimellistä. Selkeänä etuna tässä vaihtoehdossa on kuitenkin maalisakan täydellinen hävittäminen, jolloin muulta hävittämiseltä säästytään.

Logistiikka onkin todennäköisesti suurin, ja mahdollisesti ainoa kustannuksia aiheuttava tekijä tässä vaihtoehdossa. Kuten aiemmin mainittiin, yhden käsittely-yksikön kuljettamisen kustannusarviona voidaan pitää n. 100 euroa kuljetettavan matkan pituudesta riippuen. Lyhyellä matkalla vaihtoehto voi kuitenkin olla hyvinkin kannattava, jos muilta hävittämisen kustannuksilta säästytään. Hävittämisen vaihtoehtoiset kustannukset voivat siis alentua, vaikka katetta ei saataisikaan maksimoitua.

Käyttäen hyväksi maalaamoilta saatuja pohjatietoja, yhdessä IBC-kontissa voidaan kuljettaa jopa 900 kiloa maalisakkaa. Jos yhden IBC-kontin kuljetuksen kustannusten oletetaan olevan 100 euroa, yhden maalisakkakilon käsittelyn ja hävittämisen kustannukset voisivat olla vain joitakin kymmeniä senttejä. Tällä vaihtoehdolla maalisakansynnyttäjä voisi siis alentaa maalisakanhävittämiskustannuksiaan merkittävästi, mutta toiminta olisi myös nykytilanteeseen verrattuna ekologisempaa.

Kiertotalouden kannalta polttaminen ei ole ensisijainen ratkaisu, sillä raaka-aineita ei saada tehokkaasti hyötykäyttöön, vaikka sementtiuunikäsittelyssä materiaali sitoutuukin osaksi sementtiä. Sementin kannalta maalisakka on kuitenkin mitätön osa itse tuotetta,

josta ei ole välttämättä haittaa, mutta ei myöskään kovin suurta hyötyä. Tämän vuoksi polttaminen jätteenkäsittelyn vaihtoehtona on jätteenkäsittelyhierarkiassa viimeisinä vaihtoehtoina, mutta silti se on hierarkiassa ylempänä kuin jätteen loppusijoittaminen kaatopaikalle, joka on tilanne nykyisin myös polttamisen jälkeen. Sementtiuunin yhteiskäsittelyn arvoketju on esitettyä kuvassa 19.



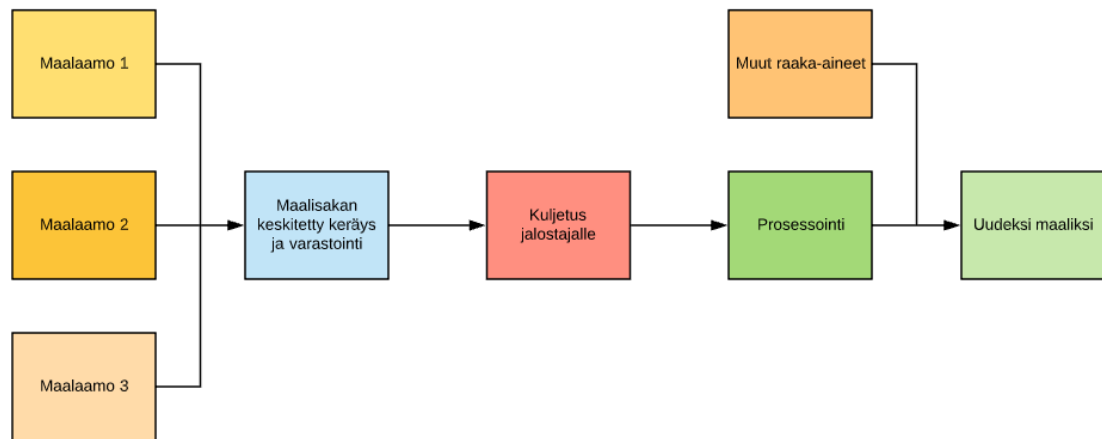
Kuva 19. Sementtiuunin yhteiskäsittelyn arvoketju.

Vaikka sementtiuunipoltossa katetuotto on todennäköisesti minimaalista ja maalisakan sisältämät raaka-aineet eivät tule täydelliseen hyötykäyttöön, voi menetelmä olla silti hyvinkin kannattava, sillä toimintaan on olemassa valmis infrastruktuuri. Kustannukset koostuvatkin luultavasti pääasiassa logistiikasta.

5.4 Maalisakka uusien maalien pohja-aineena

Potentiaalinen vaihtoehto jo tutkimuksen alusta lähtien oli maalisakan tai -lietteen käyttäminen lähes sellaisenaan alempilaatuisten maalien, tai vastaavien kemiallisten tuotteiden pohja-aineena. Varsinkin maalilietteen käyttämistä uudelleen maaleissa on tutkittu aiemminkin varsin hyvin tuloksin, mutta maalisakasta samanlaista tutkimustietoa ei vaikuta olevan saatavilla. Maalilietteen hyödyntäminen uusiksi maaleiksi on kuitenkin oletettavasti toteutettu tavallisesti maalaamojen yhteydessä, ja jotta toiminta on tällä tavoin kannattavaa, maalaamossa syntyvän maalijättemäärän on luultavasti syytä olla runsasta. Maalisakan tai maalilietteen kuljettamiseen jalostamista varten liittyy ristiriita siitä, kuljetetaanko nestettä vai kulutetaanko enemmän resursseja prosessien muissa vaiheissa. Jos maalijäte kuljetetaan vesipitoisen lietteen muodossa, joudutaan kuljettamaan runsaasti hukkaa, mutta liete voisi soveltua sellaisenaan tai vähemmällä

jalostamisella muihin prosesseihin. Kuivan maalisakan kuljettaminen voi puolestaan vähentää hukkaa kuljetuksen yhteydessä, kun taas jalostuksen muut vaiheet voivat viedä resursseja, sillä sakkauttamiseen käytetty polymeeri tuo maalisakkaan oman, lähinnä alumiinia sisältävän osansa.



Kuva 20. Kierrätysmaalin arvoketju.

Kierrätysmaalin arvoketju (Kuva 20) vaikuttaa verrattain yksinkertaiselta olettaen, että maalisakka käy raaka-aineeksi sellaisenaan, tai lähes sellaisenaan. Suurimman kustannuksen aiheuttavat hyvin todennäköisesti maalisakan keräyksen ja kuljetuksen logistiikka, jotka molemmat ovat riippuvaisia kuljetusmatkojen pituuksista. Mahdollisesti joudutaan kuitenkin tekemään jonkinlaisia prosessimuutoksia ja investointeja joko maalinvalmistajan, maalaamoiden, tai maalisakan muodostamiseen käytettävän sitouttamispolymeerin valmistajan prosesseihin, jotta maalisakka olisi helpommin hyödynnettävissä. Maalisakan ominaisuudet vaihtelevat käytettyjen maalien mukaan, joten aines ei ole homogeenistä. Tämä vaikuttaa kierrätysmaalien värivalikoimaan, sekä mahdollisesti kemialliseen koostumukseen. Maalisakan joukkoon voidaan myös joutua lisäämään joitakin lisäaineita ja pigmenttejä, jotta lopputuotteesta saataisiin hyvälaatuista.

Nykyisillä maalinvalmistajilla on olemassa jo ennestään jakelu- ja markkinointikanavat tuotteilleen, joten nämä eivät todennäköisesti aiheuta ylimääräisiä ongelmia. Maalisakasta jalostettu kierrätysmaali voisi olla vain tuote muiden tuotteiden joukossa, mutta eri asia on, mikä on tuotteen sopivuus yrityksen tuoteportfolioon ja strategiaan. Toinen kysymys kuuluu, mikä on kierrätysmaalin potentiaalinen asiakaskunta ja löytyykö kierrätysmaalille tarpeeksi markkinoita, jos jalostumisen kustannusten puolesta toiminta olisikin kannattavaa.

5.5 Yhteiset tekijät

5.5.1 Eri vaihtoehtojen logistiset ongelmat

Yhteisenä asiana jokaisessa tapauksessa nousivat esille varsinkin logistiikkaan liittyvät tekijät, jotka voivat lisätä lopulliselle tuotteelle sellaista hintaa, jota asiakas ei halua maksaa. Tuotteen hinta muodostuu siis liian suureksi asiakkaan saamaan hyötyyn nähden. Näin ollen logistiikkaan liittyvät tekijät voivat olla merkittävässä asemassa kiertotalouden ja yritysekosysteemien toteutumisen kannalta. Kiertotalouden ratkaisuihin korostuvat tyypillisesti klusterimaisesti sijoittuneet alueelliset yritysekosysteemit, mutta koska Suomessa syntyvät maalisakkamäärät ovat verrattain pieniä, maalisakan jalostaminen yrityksissä tai yhteisesti teollisuuspuisto-tyyppisten klustereiden yhteydessä eivät välttämättä ole kannattavia. Tämän vuoksi suuremmat logistiikkakustannukset tulevat todennäköisesti halvemmaksi vaihtoehdoksi kuin toiminnan hajauttaminen.

Kustannusten lisäksi nykymuotoiset kuljetukset synnyttävät hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöjä, jotka voivat viedä kiertotalouden mukanaan tuomaa ekologisuutta. Varsinkin bulkkimaisten kuljetusten yhteydessä ongelmaksi nousevat kasvaneet hiilijalanjäljet, mutta kuljetettaessa maalilietettä tai maalisakkaa IBC-kontissa kuten tähänkin asti, voidaan kuljetuksia käsitellä lava- tai kappaletavarana. Olettaen, että kuljetuskalustoa voidaan käyttää tehokkaasti ja maalisakkaa voidaan kuljettaa lähes minkä tahansa kuljetuksen joukossa, maalisakan kuljetus ei välttämättä lisäisi merkittävästi kuljetusten hiilijalanjälkeä Suomen kokonaislogistiikan kannalta, kuten aiemmin esitetyissä laskelmissa tuotiin esille.

5.5.2 Mahdollisia vaihtoehtoja kuljetukselle ja varastoinnille

Kuvassa 21 on esitettyinä mahdollisia suuntia antavia maalisakan kuljettamisen logistiikkaketjuja maalisakan tuottajilta Etelä-Suomessa sijaitseville hyödyntäjille, joita olivat tässä tapauksessa maalinvalmistajat sekä sementinvalmistajat, mutta mahdollisesti myös jokin raaka-aineiden erotteluun kykenevä kierrätysyritys tai jokin kemianteollisuuden toimija. Näissä malleissa jokaisen maalaustoimintaa harjoittavan yrityksen tuottama maaliliete tai maalisakka ohjattaisiin suoraan tai keskitettyjen solmukohtien kautta hyödyntäjälle. Oikeanpuoleisessa kuvassa maalisakka ohjataan tuottajilta alueellisille hubeille, jotka voivat olla esimerkiksi jätteenkäsittelylaitoksia, terminaaleja, varastoja, tai vastaavia solmukohtia logistiikkaketjussa.

Vasemmanpuoleisessa kuvassa maalisakka kuljetetaan suoraan synnyttäjältä hyödyntäjälle. Maalisakan kuljettamisessa mahdolliselle hyödyntäjälle voitaisiin hyödyntää joko suoria kuljetuksia, tai vaihtoehtoisesti välivarastotyyppisiä ratkaisuja esimerkiksi ongelmajätteenkäsittelyasemien yhteydessä. Vaihtoehtojen kannattavuus on suhteessa siihen, kuinka paljon maalisakkaa syntyy yrityksessä.



Kuva 21. Teoreettisia kuljetusketjuja maalisakan tai -lietteen tuottajalta Etelä-Suomessa sijaitsevalle hyödyntäjälle.

Oikeanpuoleisen kuvan esittämällä toimintatavalla voitaisiin saavuttaa suuremmat täyttöasteet ja tiheimmät materiaalivirrat kuljetuksille. Tämän vuoksi maalisakan keräyksessä voitaisiin toimia kuten tähänkin asti, eli maalisakka toimitettaisiin yrityksittäin jätteenkäsittelylaitokselle, mutta hävittämisen sijasta maalisakankuljetusyksiköt kuljetettaisiin suurempana kokonaisuutena hyödyntäjälle. Tämä malli voisi toimia niiden maalausyritysten kohdalla, jotka hävittävät maalisakkaansa pieniä määriä useasti, esimerkiksi kerran kuukaudessa.

Vasemmanpuoleisella mallilla taas voitaisiin toimia silloin, kun maalisakkaa syntyy paljon, ja sitä hävitetään harvoin, jolloin voitaisiin lähtökohtaisesti saavuttaa riittäviä täyttöasteita kuljetuksiin. Näitä menetelmiä voitaisiin yhdistellä tapauskohtaisesti, mutta mahdollinen vaihtoehto voisi olla myös maalisakan kuljettaminen muun kuorman mukana maalaamoilta joko suoraan hyödyntäjälle, tai vaihtoehtoisesti sopivaan terminaaliin, josta maalisakka toimitettaisiin hyödyntäjälle. Maalisakan logistiikkaketjut voitaisiin määritellä kustannuksiltaan mahdollisimman optimaalisiksi kirjallisuuskatsauksen yhteydessä esitellyn painovoimamallin avulla.

Ongelman maalisakan varastoimiselle aiheuttavat yrityksiä koskevat jätteen varastointia koskevat lainsäädännölliset rajoitukset, joiden vuoksi yritykset eivät voi varastoida tiloissaan ongelmajätteitä täysin vapaasti. Toisaalta ylimääräisen jätteen säilyttäminen yrityksen tiloissa voi viedä turhaan tilaa muilta toiminnoilta. Tutkimuksen perusteella maalisakka hävitettiin yrityksissä n. 1–4 kuukauden välein, joten toisaalta varastointia syntyy jo nykytilanteessa aivan luonnostaan.

Maalaamoiden sakanmuodostuksen ollessa verrattain suurta maalisakka voitaisiin varastoida myös maalaamoiden yhteyteen ja toimittaa muun kuorman mukana maalisakan hyödyntäjille aivan kuten mikä tahansa lavatavara. Tämä vaikuttaa mahdolliselta vaihtoehdolta siitä syystä, ettei maalisakan kuljettamista ole erityisemmin säännelty, eikä kuljettaminen vaadi erityisempiä olosuhteita. Ongelman pitkäaikaisessa varastoinnissa saattaa tosin aiheuttaa maalisakan käymiseksi kuvattu ilmiö, joka heikentää maalisakan laatua.

Tutkimuksessa nousi lisäksi esille muiden toimijoiden rooli arvoverkossa ja uuden tuotteen jalostuksessa, sillä toteutuessaan yritysekosysteemin jokaisen yksilön on sopeuduttava uusiin tilanteisiin. Esimerkiksi maalausprosessin tai maalisakanmuodostusprosessin muuttamiseen voitaisiin tarvita maalausteknologian ja sakkauttamispolymeerien valmistajien toimenpiteiden muutoksia. Jotta maalisakkaa tai –lietettä voitaisiin käyttää tehokkaammin jatkojalostajan prosesseissa, vaihtoehtona voi olla maalipartikkeleiden sitomatta jättäminen, jotta vältetään ylimääräiseltä prosessoinnilta jatkojalostuksen yhteydessä. Sitomispolymeerit koostuvat pääasiassa alumiinisuoloista, jotka lisäävät maalisakan kemiallisten yhdisteiden määrää. Pelkkä maaliliete sisältää kuitenkin vain vähän maalipartikkeleita, jolloin kannattava kuljetusmatka ei välttämättä olisi kovin pitkä. Kuten Endevin lietteenpolttolaitos -casen yhteydessäkin todettiin, ylimääräisen veden kuljettaminen on tavallisesti hukkaa, jos se ei tuo minkäänlaista lisäarvoa lopputuotteeseen. Sakkauttamisprosessille on siten olemassa vahvat perusteet, ja maalilietteen kuljettaminen sitomatta vettä osoittautuikin heti alussa kannattamattomaksi ideaksi. Maalisakkaharkko, josta on imeytetty suurin osa vedestä pois, on tilavuudeltaan vain noin 20 % maalisakkaveden tilavuudesta, joten kääntäen maalilietteen kuljettaminen vaatii 5 kertaa enemmän tilaa, joka taas voi aiheuttaa 5 kertaa enemmän kustannuksia.

5.5.3 Maalisakan taloudellinen merkitys ja vaihtoehtokustannukset

Kuljetettaessa suoraan raaka-aineeksi kelpaavaa maalisakkaa tai –lietettä, raaka-aineen kokonaiskustannus hyödyntävälle yritykselle syntyy pelkästään logistiikan kustannuksista, jos maalisakan tuottaja, eli lähettäjä ei veloita maksua tuottamastaan raaka-aineesta ja maalisakan hyödyntäjä, eli vastaanottaja, maksaa logistiikan kustannukset. Jos maalisakka ei sovellu suoraan raaka-aineeksi, vaan lisäksi tarvitaan jalostamista ja muita raaka-aineita, näiden toimintojen ja raaka-aineiden kustannukset täytyy ottaa myös huomioon. Näitä kustannuksia voidaan käyttää vertailukohtana niihin kustannuksiin, jotka muodostuisivat vastaavan neitseellisistä raaka-aineista valmistetun tuotteen raaka-aineen hankintojen sekä valmistuksen kustannuksista.

Maalaamoiden saama suora hyöty maalisakan luovuttamisesta toisen yrityksen raaka-aineeksi on kiistaton, sillä maalisakan muun hävittämisen kustannuksilta säästyään. Toisaalta maalisakan osoittautuessa kelpolliseksi ja rahanarvoiseksi raaka-aineeksi, raaka-ainetta hyödyntävä yritys voisi myös maksaa tuottajille korvauksia saamastaan materiaalista. Uuden lopputuotteen hinnan tulisi kuitenkin olla sellainen, jonka asiakkaat ovat valmiit maksamaan.

Maalisakan tuottajille hyötyä voisivat tuoda myös nykyistä hävittämisvaihtoehtoa edullisemmat ratkaisut, sekä maalisakan ympäristöystävällisemmät hävitysmenetelmät. Alustavasti maalisakan hävittämisen kustannusten arvioitiin olevan n. 1,2 €/kg, mutta tämäkin vaihtelee. Kyselyissä tuli esille, että n. 30 000 kg maalisakkaa vuodessa synnyttävän yrityksen kustannukset itse maalisakan hävittämiseksi ovat n. 0,48 €/kg ilman arvonlisäveroa ja rahtia. Tässä tilanteessa yritys hävitti maalisakkaa vain 3 kertaa vuodessa, jolloin hävitettävä määrä oli 11 IBC-kontillista kerrallaan, ja yritys tilasi kuljetuksen joka kerralle itse. Vuotuiset kokonaiskustannukset maalisakan hävittämiseksi yrityksessä olivat kuitenkin n. 15 000 € ja yrityksellä oli myös kiinnostusta vaihtoehtoon, jossa näitä kustannuksia saataisiin pienennettyä, vaikka voittoa ei saataisikaan. Oletettavasti 1,2 €/kg-tasoiset hävittämiskustannukset syntyvät tilanteessa, jossa maalisakan hävittämistä tapahtuu usein ja toiminta on säännöllistä. Oletuksena on siis, että yrityksillä on kiinnostusta myös sellaiseen vaihtoehtoon, jossa maalisakanhävittämiskustannukset pienenevät, vaikka nolatilanteeseen tai voitokkaaseen ratkaisuun ei päästäisikään.

5.6 Empirian synteesi

Kolmanteen ja viimeiseen, mutta ei vähäisimpään tutkimuskysymykseen haluttiin löytää vastaus varsinaisen tutkimuksen kautta. Kysymyksessä mietittiin, *mikä on logistiikan rooli kiertotalouden ratkaisujen toteutumisessa*.

Varsinaisen tutkimuksen lisäksi vastausta värittämään ja vahvistamaan löydettiin runsaasti viitteitä kirjallisuudesta ja case-esimerkkien myötä, mutta lopputulema oli aina sama; logistiikka on hyvin tärkeässä roolissa kiertotalouden toteutumisen kannalta. Tyypillisesti tuotannon sivuvirtoja hyödynnetään niiden syntypaikan lähistöllä klusterimaisesti toimivissa yritysten muodostamissa ekosysteemeissä, kun taas maalisakka-tutkimuksessa päädyttiin siihen, että materiaaleja voidaan joutua kuljettamaan pitkiäkin matkoja jätteen tai sivuvirtojen tuottajilta raaka-aineen tarvitsijoille. Logistiikkakustannusten kasvaessa tuotteeseen sitoutunut arvo kasvaa, ja jos logistiikan kustannukset kasvavat liian suuriksi, tuotteeseen on mahdollisesti syntynyt sellaista arvoa, josta asiakas ei halua maksaa.

Tässä tutkimuksessa pohdittiin esimerkiksi vaihtoehtoa, että maalisakka kuljetettaisiin maalaamoilta ympäri Suomen Etelä-Suomessa toimijalle, eli kuljetettavat matkat voisivat olla pitkiä. Maalisakkaa syntyy maalaamoissa verrattain pieniä määriä ja maalaamot ovat hajanaisesti sijoittuneita, joten kuljetusten virrat ovat ohuita. Toisaalta jotkin yritykset voivat varastoida maalisakkaa jopa neljän kuukauden ajan hävittäen maalisakan kerralla, jolloin kuljetuksissa päästään lähtökohtaisesti suuriin täyttöasteisiin ja suuriin kertakuljetusten volyymeihin. Tämän vuoksi logistiikan kokonaisvaltainen ajattelu on hyvin tärkeässä roolissa, jotta voidaan saavuttaa optimaalisia kuljetuskustannuksia. Kokonaisvaltaisella logistiikan ohjaamisella ja keskittämällä voitaisiinkin saada aikaan riittäviä kuljetusvolyymejä ja siten suuremman eräkoon mukanaan tuomia kustannushyötyjä.

Kuljetettavan matkan pidentyessä kustannusten lisäksi kuljetuksen hiilijalanjälki kasvaa, mutta kysymys kuuluu, kasvaako maalisakan kuljettamisen hiilijalanjälki, jos maalisakankuljetusyksikköä voidaan pitää lava- tai kappaletavarana, jolla voidaan lisätä mahdollisten vajaiden kuljetusten hyötykuormaa, tai kuljettaa arvokasta raaka-ainetta? Todennäköisesti kuljetusten hiilijalanjälki ei kasva ainakaan merkittävässä määrin, eikä kuljetusten vaikutus siten syö kierrättämisen mukanaan tuomaa ekologista lisäarvoa.

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä oli tarkoituksena selvittää uusia käyttökohteita vesipohjaisille maalisakoille, sekä varsinkin niiden toteutuskelpoisuutta ja skaalattavuutta globaalille tasolle. Maalisakka koettiin ongelmallisena jätteenä, sillä sen hävittämisestä jouduttiin maksamaan jopa 1,2 €/kg, eikä hävittäminen polttamalla tai sijoittamalla kaatopaikalle ollut kiertotalouden kannalta optimaalinen vaihtoehto, sillä maalisakan sisältämät raaka-aineet sekä muut maalinvalmistuksen arvoketjun resurssit menetettiin hävittämisen yhteydessä.

Alkuperäisenä ajatuksena oli, että maalisakasta voitaisiin erotella alkuaineita ja komponentteja, kuten alumiinia, bariumia ja titaanioksidia erilaisiin käyttötarkoituksiin. Varsinkin bariumin ja titaanidioksidin erottelulle olisi ollut vahvat perusteet, sillä barium on melko haitallinen alkuaine, joka voisi rajoittaa useiden maalisakkapohjaisten kiertotaloudellisten tuotteiden toiminnan. Titaanidioksidi on taas melko yleinen alkuaine, mutta sen louhinta, käsittely ja prosessointi teollisuuden käyttöön kuluttavat runsaasti resursseja ja aiheuttavat päästöjä. Kemian tutkimusyksikön asiantuntijoiden perusteella eri komponenttien erottelu maalisakasta on kuitenkin hyvin vaikeaa tai lähes mahdotonta, ja tätä väitettä tukivat myös jotkin kansainväliset tutkimukset. Vaikka eri komponenttien erottelu olisikin mahdollista, prosessien kalleus näkyisi todennäköisesti uuden käyttökohteen lopullisessa hinnassa, joka mahdollisesti vaikuttaisi uuden tuotteen kysyntään. Tämän vuoksi realistisemmaksi ja kannattavammaksi vaihtoehdoksi tuli maalisakan käyttäminen sellaisenaan tai jossakin sellaisessa kohteessa, jossa prosessoinnin kustannukset olisivat minimissään. Tulevaisuudessa eri komponenttien tai raaka-aineiden erottelu voi tosin olla kannattava vaihtoehto, jos jonkin maalin raaka-aineen hinta kohoaa huomattavasti, ja eri raaka-aineiden erottelulle löydetään kustannustehokkaita menetelmiä. Toiminta voi tosin olla nykyiselläänkin kannattavaa tarkasteltaessa suuria teollisuuskeskittymiä kansainvälisesti, eli maalisakkaa tuotetaan suuria määriä ja eri komponenttien erottelu voidaan tehdä lähellä, ja mahdollisesti erotetuille komponenteille on käyttökohteita lähistöllä.

Kokeellisena menetelmänä esitetty maalisakan hyödyntäminen kiertotaloudellisena katalyytin tukiaineena puolestaan voisi olla tuote, jolla on korkea markkinapotentiaali, ja lisäksi jalostamisen kustannukset ovat mahdollisesti pienet. Maalisakassa runsaana esiintyviä alkuaineita titaania, alumiinia ja piitä on testattu katalyyttien tukiaineena

prosesseissa, joissa on valmistettu synteesikaasusta hiilivetyjä, joita voisi mahdollisesti käyttää liikennepolttoaineena. Aineita on testattu kuitenkin vain yksitellen, eikä seoksena, kuten tilanne olisi hyödynnettäessä maalisakkaa kokonaisuudessaan. Tämän hyödyntämiskohteen käyttömahdollisuudet vaativat vielä lisätestauksia laboratoriossa. Myös potentiaalisten markkinoiden suuruus on epäselvä, vaikka potentiaalia vaikuttaakin olevan huomattavasti. Menetelmä vaikuttaa kuitenkin globaalisti skaalautuvalta mahdollistaen maalisakan tehokkaan hyödyntämisen korkeatasoisena lopputuotteena.

Eräs kiertotaloudellisesti potentiaalinen ratkaisu oli maalisakan käyttäminen kierrätysmaalien raaka-aineena, jolloin maalisakkaa voitaisiin hyödyntää ainakin lähes täydellisesti. Mahdollisesti uutta maalia valmistettaessa maalisakkaan joudutaan lisäämään joitakin lisäaineita, joilla voidaan parantaa kierrätysmaalin ominaisuuksia. Ongelmia tässä vaihtoehdossa aiheuttavat maalaamoiden hajanainen sijoittuminen ympäri Suomea, kun taas suurimmat maalinvalmistajat sijaitsivat pääosin Etelä-Suomessa. Maalisakan tuotanto Suomen tasolla on melko pientä, joten ongelmaksi muodostuivat mahdollisten kuljetusten ohuet virrat tuottajilta jalostajille. Riittävän volyymin takaamiseksi maalisakan logistiikka tulisi mahdollisesti keskittää siten, että logistiikkakustannukset ovat myös optimaaliset. Idea maalisakan käyttämisestä kierrätysmaalien pohja-aineena tuli maalivalmistajalta, mutta on kyseenalaista, vaatisiko maalisakan prosessointi tuotantoprosessien muutoksia maalivalmistajalle. Logistiikan lisäksi tämä voisi olla rajoitteena maalisakan hyödynnettävyydelle, jos esimerkiksi uusien investointien kustannukset nousevat kohtuuttomiksi. Koska kyseessä on kierrätysmaali, jonka laadulliset ominaisuudet ovat mahdollisesti rajoitetut, myyntivalttina voisi olla maalin uutta maalia alhaisempi hinta. Tällöin maalisakan kuljettamisen ja prosessoinnin hinta korostuvat erityisesti, jotta kulut peittyvät. Toisaalta kierrätetty maali voi tuoda itsessään lisäarvoa asiakkaalle, jolloin myös hieman korkeampi hinta voi olla perusteltu. Vaikka ratkaisu vaikuttaa olevan melko haastava Suomessa pääasiassa logistiikan ja ohuiden materiaalivirtojen osalta, tilanne voi olla aivan erilainen jossakin suuressa teollisuuskeskittymässä, jossa maalaamot ja maalinvalmistajat sijaitsevat lähekkäin, jolloin raaka-aineen määrä on suuri ja kuljetettavat matkat ovat lyhyitä. Maalisakan hyödyntämistä maalien raaka-aineena ei siis voida yleistäen sanoa kannattamattomaksi ratkaisuksi, vaan tilannetta tulisi tarkastella alueittain syntyvien maalimäärien ja eri toimijoiden sijaintien perusteella.

Hieman vähemmän kiertotaloudellisena, mutta silti potentiaalisena ratkaisuna käsiteltiin maalisakan yhteispolttoa sementtiuunissa, joka on joissakin maissa yleisesti käytetty menetelmä ainakin maalilietteen hävittämiseksi. Menetelmässä maalisakka voidaan hävittää ympäristöystävällisesti siten, että osa maalisakasta sitoutuu osaksi sementtiä korvaten muita raaka-aineita, ja osa haitallisista yhdisteistä neutraloituu muiden poltettavien materiaalien kanssa kemiallisesti reagoidessaan. Osa maalisakasta voi toimia myös polttoaineena korvaten muita polttoaineita. Suomessa syntyvien maalisakkamäärien ollessa pieniä, polttoaineen ja raaka-aineen korvaaminen on kuitenkin vain marginaalista. Maalisakasta ei kuitenkaan jää jäljelle ollenkaan hävittämistä vaativaa jätettä, ja sementin osana maalisakan ei sanota vaikuttavan sementin ominaisuuksiin. Ongelmana tässä vaihtoehdossa olivat Suomen sementtitehtaiden sijoittuminen eteläiseen Suomeen, jolloin suurimman kustannuksen aiheuttavat todennäköisesti logistiikkakustannukset. Tämä vaihtoehto ei luultavasti synnytä minkäänlaisia voittoja, mutta toisaalta prosessoinnin kustannukset ovat minimaaliset. Joka tapauksessa maalisakka voitaisiin mahdollisesti hävittää ekologisesti tällä tavalla, ja hyvin todennäköisesti hävittämisen kustannuksia saataisiin pienennettyä maalaamoiden osalta. Kuten maalisakan hyödyntämisessä maalien raaka-aineena, myös tässä vaihtoehdossa logistiikka voi aiheuttaa jonkinlaisia haasteita Suomessa, mutta tilanne ei ole yleistettävissä globaalisti. Menetelmä maalisakan hävittämiseksi voi olla hyvinkin kannattava, jos eri toimijat sijaitsevat lähekkäin ja syntyvät maalisakkamäärät ovat runsaita, jolloin maalisakka toimii myös polttoaineena ja raaka-aineena.

Maalisakan pitkäaikainen varastointi maalaustoimintaa harjoittavan yrityksen tiloissa kuljetusvolyymien kasvattamiseksi ei nykytilanteessa vaikuta olevan vaihtoehto ainakaan pienempien yritysten kohdalla, kun taas suurimpien maalaamoiden kohdalla maalisakkaa varastoidaan jopa 4 kuukauden ajan, jonka jälkeen suuria määriä hävitetään kerralla. Mahdollinen ratkaisu voisi olla maalisakan toimittaminen jäteasemille kuten tähänkin asti, mutta hävittämisen sijasta sakka kuljetettaisiin jatkojalostajalle. Maalisakka mielletään ongelmajätteeksi, mutta vain siinä tapauksessa, että se ajautuu maaperään tai pohjavesiin. Kuljettamiselle ei siis aiheudu erityisempiä erikoiskuljetusvaatimuksia, vaan maalisakkaa voidaan kuljettaa näillä näkymin lähes minkä tahansa kuljetuksen yhteydessä lavatavarana. Tämän vuoksi maalisakan kuljettamisessa voitaisiin hyödyntää tehokkaasti muita kuljetuksia ja kaluston yhteiskäyttöä, jonka vuoksi maalisakan kuljettaminen raaka-aineena ei välttämättä lisää merkittävästi Suomen kokonaislogistiikan hiilijalanjälkeä.

Maalisakan kerääminen voitaisiin mahdollisesti toteuttaa mukailen SER-kierrätyksen periaatteita, eli maalaustoimintaa harjoittavia yrityksiä varten voitaisiin perustaa tuottajayhteisö, joka huolehtisi maalisakan oikeaoppisesta kierrättämisestä ja keräämisestä. Vaihtoehtoisesti raaka-ainetta hyödyntävä yritys voisi toteuttaa tuottajayhteisön ylläpitämisen ja toiminnan toteuttamisen. Kiinteällä maksulla yritykset voisivat kierrättää maalisakkansa kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Jos maalisakan kerääminen ja käyttäminen osoittautuisivat kannattamattomiksi vaihtoehtoisiksi ja toimintaa jatketaan samalla tavalla, eli hävittämällä maalisakka kaatopaikkasijoituksella, voitaisiin toimintaa ääritilanteissa ohjata oikeaan suuntaan lainsäädännön avulla: Joko maalisakan hävittämisestä tehtäisiin vielä kalliimpaa verotuksen avulla, tai neitseellisten raaka-aineiden käyttämisestä tehtäisiin kalliimpaa. Tämä voisi ohjata yrityksiä käyttämään prosesseissaan ympäristöystävällisempiä materiaaleja.

Kirjoittaessani tätä diplomityötä maailmassa alkoi globaali poikkeustila, jonka aiheutti koronavirus, eli COVID-19. Koronavirus levisi ympäri maailman aiheuttaen vakavia sairastumisia, jotka johtivat pahimmassa tapauksessa kuolemaan. Koronan leviämisen ehkäisemiseksi toteutettiin laajamittaisia eristyksiä, jolloin maiden rajoja suljettiin ja matkustamista rajoitettiin, mutta myös monia tehtaita suljettiin. Ennen koronaepidemiaa pitkäaikaisena trendinä olivat olleet globaalit tilaus-toimitusketjut, joissa tuotteet tai komponentit saatettiin tuottaa siellä, missä hinta oli halvin, tai missä jonkin erikoiskomponentin valmistukseen oli erityistä osaamista. Koronaviruksen aiheuttamien tehtaiden sulkemisten vuoksi monet teollisuusyritykset olivat pulassa, sillä ne eivät saaneet tarvittavia komponentteja kokoonpanojaan varten. Tämä aiheutti yrityksissä massiivisia lomautuksia jopa useiden kuukausien ajaksi. Vaikka koronavirus aiheutti valtavia haasteita ja ongelmia ympäri maailman, oli tällä maailmanlaajuisella pandemialla joitakin hyviäkin seurauksia: Usea toimija on joutunut miettimään uudelleen hyödykkeiden toimitusketjuja ja tuotteiden toimitusvarmuutta. Tämä voi johtaa ainakin hetkellisesti tuotteiden kotimaisuusasteen lisääntymiseen. Kiertotalouden periaatteiden mukaan eri toiminnoissa panostetaan omavaraisuuteen, sekä niiden tuotteiden ja materiaalien käyttämiseen, jotka ovat jo taloudessa. Koska kansainvälisten toimitusketjujen sekä raaka-aine- ja komponenttituotantojen varmuutta ei ehkä pidetäkään enää täysin itsestäänselvyyksinä, voi tämä luoda hyvän alustan esimerkiksi kiertotaloudellisten ratkaisujen toteuttamiselle.

Tutkimuskysymykset ja niiden vastaukset

Työssä pyrittiin saamaan vastaukset tutkimuskysymyksiin kiertotalouden merkityksestä yrityksille ja yhteiskunnille (TK1) sekä sen toteuttamisesta mahdollisesti aiheutuville haasteille (TK2). Lisäksi pyrittiin hahmottamaan logistiikan rooli kiertotaloudellisissa ratkaisuissa työn aiheen, ”*Logistiikka kiertotalouden ratkaisuissa*”, mukaisesti (TK3).

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä keskeisimpinä havaintoina olivat kiertotalouden huomattavat edut, joista varsinkin taloudellisuus, ekologisuus ja energiatehokkuus nousivat pinnalle. Kiertotalous voidaan nähdä monipuolisesti kestäväenä ratkaisuna, jonka avulla voidaan säästää neitseellisiä luonnonvaroja ja energiaa, ja näin ollen myös luontoa. Kiertotalouden avulla voidaan luoda uusia työpaikkoja, liiketoimintaa ja innovaatioita, jotka voivat toimia tulevaisuudessa talouskasvun ajureina. Kiertotaloudelliset ratkaisut voivat myös osaltaan toimia alustoina yritysekosysteemeille, joiden avulla yksittäiset yritykset ja muut yritysekosysteemin osapuolet voivat saavuttaa merkittäviä synergiaetuja.

Toisen tutkimuskysymyksen vastauksessa korostui erityisesti logistiikan ja yritysekosysteemien merkitys useissa kiertotaloudellisissa ratkaisuissa. Jo kirjallisuuskatsauksen yhteydessä todettiin, että juuri logistiikasta aiheutuvat kustannukset voivat olla esteenä sille, ettei kiertotaloudellisia ratkaisuja voida toteuttaa tehokkaasti. Liian suuret logistiikkakustannukset voivat osaltaan lisätä minkä tahansa tuotteen jalostumisen ja arvonaluonnin kustannuksia, kuin myös tuotteen elinkaaren hiilijalanjälkeä. Lähes ehtona tehokkaalle kiertotaloudelliselle toiminnalle voidaankin pitää yritysten klusterimaista sijoittumista ja yritysekosysteemimäistä toimintaa. Täysin uusien tuotantolaitosten kohdalla tämä voidaan saavuttaa melko vaivattomasti. Kiertotalouden toteutumiseen voi vaikuttaa myös lainsäädäntö, jolla on rajoitettu jollakin tavalla jätteen tai sivuvirtojen hyödyntämistä. Yleensä näille rajoituksille on olemassa vahvat perusteet esimerkiksi tuoteturvallisuuteen tai tuotteen ominaisuuksiin mahdollisesti liittyvien riskien vuoksi. Lisäksi jätteen tai sivuvirtojen potentiaalisten hyödyntäjien käytössä oleva kalusto ja tekniikka voivat aiheuttaa esteitä sivuvirtojen hyödyntämiselle varsinkin silloin, jos investoinneilla ei saavuteta merkittäviä taloudellisia hyötyjä.

Kolmannen tutkimuskysymyksen vastaus voidaan kiteyttää seuraavaan lauseeseen: Logistiikka on hyvin tärkeässä roolissa kiertotalouden toteutumisen kannalta.

Tyypillisissä kiertotalouden ekosysteemeissä tuotannon sivuvirtoja hyödynnetään niiden syntypaikan lähistöllä, mutta tutkimuksessa tapauksessa tämä ei ollut useinkaan vaihtoehtona maalaamoiden hajanaisten sijoittumisten, ja toisaalta ohuiden materiaalivirtojen vuoksi. Logistiikkakustannusten kasvaessa tuotteeseen sitoutunut arvo kasvaa, ja jos logistiikan kustannukset kasvavat liian suuriksi, tuotteeseen on mahdollisesti syntynyt sellaista arvoa, josta asiakas ei halua maksaa. Tämän vuoksi logistiikan kokonaisvaltainen ajattelu on hyvin tärkeässä roolissa, jotta voidaan saavuttaa optimaalisia kuljetuskustannuksia. Kokonaisvaltaisella logistiikan ohjaamisella ja keskittämällä voitaisiinkin saada aikaan riittäviä kuljetusvolyymejä ja siten suuremman eräkoon mukanaan tuomia kustannushyötyjä.

Kuljetettavan matkan pidentyessä kustannusten lisäksi tuotteen hiilijalanjälki kasvaa, mutta kysymys kuuluu, kasvaako maalisakan hiilijalanjälki, jos sen kuljetusyksikköä voidaan pitää lava- tai kappaletavarana, jolla voidaan lisätä mahdollisten vajaiden kuljetusten hyötykuormaa, tai kuljettaa arvokasta raaka-ainetta? Todennäköisesti tuotteen hiilijalanjälki ei kasva ainakaan merkittävässä määrin, eikä kuljetusten vaikutus siten syö kierrättämisen mukanaan tuomaa ekologista lisäarvoa.

6.1 Tutkimuksen arviointi

Reliabiliteetilla kuvataan tutkimuksen luotettavuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että suoritettaessa tutkimus uudelleen samoilla menetelmillä, voidaan päästä samanlaisiin tuloksiin. *Validiteetilla* tarkoitetaan puolestaan tutkimusmenetelmien sopivuutta tutkimuksen kannalta. (Golafshani 2003, s. 598–599)

Koska kyseessä oli kvalitatiivinen case-tutkimus, eikä tutkimuksen tarkoituksena ollut esittää tarkkoja tuloksia, vaan hahmotella kiertotaloudelliset mallit ja logistiikka niiden ympärille, tutkimuksesta olisi voitu saada myös aivan muunlaisia tuloksia. Toisaalta erilaisilla menetelmillä olisi voitu päästä täysin samoihin tuloksiin. Haasteen tutkimuksen kannalta aiheutti sen moniulotteisuus, eli mukana oli monenlaisia muuttujia, jotka voivat vaikuttaa lopputulokseen. Kvalitatiivisen tutkimuksen hyvyttä onkin vaikea mitata validiteetin ja reliabiliteetin avulla (Golafshani 2003, s. 601). Tämänkaltaiseen tutkimukseen menetelmät vaikuttivat kuitenkin olevan hyvin sopivia.

Tutkimuksen tulokset erityisesti ohuiden logististen materiaalivirtojen vaikutuksista kiertotaloudellisiin ratkaisuihin ja niiden kannattavuuteen voidaan myös yleistää lähes mihin tahansa logistiseen toimintoon.

Ajatus maalisakan hyödyntämisestä raaka-aineena kiertotalouden periaatteiden mukaisesti on varsin uusi, mutta vaikka hyödyntämistä raaka-aineena on tutkittu jo vuosikymmenten ajan, uutta ja täydellistä ratkaisua ei ole kuitenkaan löytynyt, vaikka käytöstä esimerkiksi kierrätysmaalina on jonkin verran kokemuksia. Materiaalin uutuuden vuoksi työssä jouduttiin innovoimaan paljon yhteistyössä eri tahojen kanssa, sekä tekemään runsaasti karkeita arvioita esimerkiksi kuljetuskustannuksista ja niiden vaikutuksista, kuin myös maalisakan prosessoinnista.

Diplomityön rajallisen laajuuden ja käytettävissä olleiden resurssien vuoksi ei kyetty luomaan täydellistä mallia maalisakan keräykselle ja uudelle käytölle, mutta suuntaa antavia malleja ja arvioita kyettiin sen sijaan luomaan, joiden pohjalta tutkimusta voitaisiin jatkaa otolliseen suuntaan. Logistisesta mallista kyettiin luomaan karkea hahmotelma ja idea, mutta lopullinen toteutus vaatisi lisäselvityksiä sekä neuvotteluja esimerkiksi potentiaalisten rahdinkuljettajien, maalinvalmistajien, jätteenkäsittelylaitosten, sekä mahdollisten muiden sidosryhmien kanssa.

Tutkimuksen fokus ja lopputulema tutkimukselle pysyivät alusta lähtien hyvin samanlaisina, eli maalisakan hyödyntämisen ajateltiin olevan haastavaa logistiikan ja jatkojalostuksen kustannusten vuoksi. Tietoisuus kuitenkin kasvoi koko prosessin aikana ja logistiikkaan liittyvät haasteet ja mahdolliset toteutusmallit hahmottuivat pala kerrallaan. Komponenttien erottelemista on tutkittu esimerkiksi teräskuonan osalta, jolloin ongelmiksi ovat osoittautuneet toiminnan vaatima teknologia sekä erotettavan materiaalin hinnanvaihtelu. Tässä diplomityössä luotettiin kemian tutkimusyksikön sanaan siitä, että eri komponenttien erottelu ei ole kannattavaa maalisakan ollessa melko inerttiä ainetta. Todennäköisesti tämä pitääkin paikkansa maalisakan sisältämien komponenttien ollessa verrattain edullisia neitseellisistä lähteistä hankittuna.

6.2 Mahdolliset tulevat tutkimuskohteet

Työssä keskityttiin tutkimaan vesipohjaisten maalisakkojen tai maalilietteiden käyttämistä jossakin muussa teollisuuden prosessissa kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. Suuriksi ongelmiksi muodostuivat raaka-aineiden ja yhdisteiden vaikea ja kallis erotettavuus, jotka rajasivat maalisakan mahdollisia käyttökohteita. Esimerkiksi bariumin sanottiin rajoittavan maalisakan käyttöä joissakin kohteissa. Jatkotutkimuksissa voitaisiinkin tutkia esimerkiksi muiden, vähemmän haitallisia yhdisteitä sisältävien maalien, kuten elintarvikepainovärien maalisakkojen hyödyntämisen mahdollisuuksia.

Raaka-aineiden erottelun kustannuksia ei selvitetty tarkemmin diplomityön rajallisen laajuuden vuoksi, joten komponenttien erottelemista maalisakasta voitaisiin tutkia jatkotutkimuksessa joskus tulevaisuudessa. Vaikka toiminta vaikuttaa tänä päivänä kannattamattomalta, tilanne voi olla erilainen tulevaisuudessa, jos jonkin raaka-aineen hinta kohoaa yllättäen. Vaihtoehtoisesti tutkimusta eri komponenttien erottelusta, kuin myös tutkimusta mistä tahansa käsitelystä vaihtoehdosta voitaisiin suorittaa muissa maissa ja erityisesti suurten teollisuuskeskittymien yhteydessä, joissa maalisakkaa syntyy enemmän, ja maalisakka-kiertotalousekosysteemien luominen on realistisempaa.

Kiertotalouden periaatteisiin voidaan lukea uusiutuvien materiaalien käyttö, sivuvirtojen vähentäminen, mutta toisaalta niiden arvon maksimoiminen, sekä vaikeasti kierrätettävien aineiden ja yhdisteiden välttäminen. Tavoitteena on siis kestävä kehitys, joten voitaisiin tutkia, voitaisiinko maalinvalmistuksessa käyttää kokonaan uudennlaisia, helpommin kierrätettäviä ja ympäristöystävällisiä yhdisteitä, joiden käyttäminen olisi myös kannattavaa. Jätteenkäsittelyn pääsääntöihin ja kiertotalouden periaatteisiin kuuluvaan sivuvirtojen vähentämiseen liittyen myös maalausteknologioita voitaisiin tarkastella kriittisesti: voitaisiinko prosesseja kehittää siten, että maalia menisi yhä vähemmän hukkaan.

Tutkimuskohteet sopisivat esimerkiksi minkä tahansa yliopiston tai ammattikorkeakoulun kemian-, prosessiteknikan-, konetekniikan-, tai materiaalitekniikan tutkimusosastolle, tai mille tahansa kiertotaloudelliselle toimijalle, joka haluaa olla edelläkävijänä viemässä Suomea yhä enemmän kohti kiertotaloutta.

LÄHDELUETTELO

Aarikka-Stenroos L., 2019. Suomi kiertotalouden johtavaksi maaksi. CEO – talous ja investoinnit. Calcus.com oy.

Asu-Raag L., Trygg N., Kiil V., Kuusmann J., Männistö H., Simi P., Teppart J., Tuomela O. & Tõugjas I., 2012. Kotimaalarin käsikirja. Turku: Turun ammattikorkeakoulu, 110 s. ISBN 978-952-216-329-5

Baas L., 2005. Cleaner production and industrial ecology: Dynamic aspects of the introduction and dissemination of new concepts in industrial practices. Netherlands: Eburon Academic Publishers, 418 s. ISBN 90-5972-083-0

Bocken M.P., Pauw I., Bakker C., Grinten B., 2016. Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, 33 (5), S. 308-320.

Bartolacci M.R., LeBlanc L.J., Kayikci Y. & Grossman T.A., 2012. Optimization Modeling for Logistics: Options and Implementations. Journal of Business Logistics, 33 (2), S. 118-127.

Berg J., 2016. ETL:n jäte- ja sivuvirtaselvitys 2016. Elintarviketeollisuusliitto.

Bryman A. & Bell E., 2007. Business Research Methods. Second edition. New York: Oxford University Press, 786 s. ISBN978-0-9-92498-6

Burandi B., 2017. Utilisation of paint sludge from automotive industries into valueable products. International Journal of Recent Trends in Engineering & Research, 03 (05), S. 513-519.

Cambridge dictionary, 2020. Benchmarking [verkkodokumentti]. Cambridge: University of Cambridge. Saatavissa: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/benchmarking> [viitattu 24.2.2020].

Deloitte, 2016. Deloitte Sustainability – Circular economy potential for climate mitigation. 43 S.

Demirel N.Ö. & Gökçen H., 2008. A Mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39, S. 1197-1206.

Ebrahimi H., Fahimnia B. & Molaei R., 2011. Integration in Logistics Planning and Optimization. Teoksessa: Farahani, R.Z., Rezapour, S. & Kardar, L. (toim.) *Logistics Operations and Management – Concepts and Models*. Elsevier, S. 371-391. ISBN 978-0-12-385202-1

Endev, 2020. Paku-prosessi [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.endev.fi/paku-prosessi/> [viitattu 1.7.2020].

Euroopan komissio, 2015. Kierto kuntoon – Kiertotaloutta koskeva EU:n toimintasuunnitelma. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Bryssel: Euroopan komissio, 22 S.

Evans D., Gruba P. & Zobel J., 2014. *How to Write a Better Thesis*. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland. ISBN 978-3-319-04286-2 (eBook)

Gautam S., Bundela P. & Murumkar M., 2010. Paint sludge waste co-processing at the ACC Wadi Cement Works in Karnataka, India. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 140.

George J. & Jones G., 2016. *Contemporary Management*. Yhdeksäs painos. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-771837-4

Golafshani N., 2003. Understanding Reliability and Validity in Qualitative Research. *The Qualitative Report* 8 (4), S. 597-607.

Hayes A., 2019. Business Ecosystem [verkkodokumentti]. Investopedia. Saatavissa: <https://www.investopedia.com/terms/b/business-ecosystem.asp> [viitattu 12.12.2019].

Heidrich C. & Woodhead A., 2010. *ASA Benchmarking report*.

Heikkilä M. & Kuivaniemi L., 2012. Ecosystem Under Construction: An Action Research Study on Entrepreneurship in a Business Ecosystem. *Technology Innovation Management Review*, June 2012, S. 18-24.

Hesse M. & Rodrigue J.P., 2003. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12 (2004), S. 171-184.

Hokkanen S., Karhunen J. & Luukkainen M., 2011. Johdatus Logistiseen Ajatteluun. 6. uudistettu painos. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino. ISBN 978-952-67428-3-0

Howard M., Johnsen T & Miemczyk J., 2018. Purchasing and supply chain management: a sustainability perspective. Abingdon: Routledge, 408 s. ISBN 9781351661928

ISACA, 2010. The Business Case Guide: Using Val IT 2.0. Information Systems Audit and Control Association. ISBN 978-1-60420-105-5

Isokangas J., 2003. Sähköisen liiketoiminnan määritelmä [verkkodokumentti]. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://elearn.ncp.fi/materiaali/uiimonenj/VirtAMK/johdanto4.html> [viitattu 18.3.2020].

Kauppila J., 2019. Jätelainsäädäntö edistää luonnonvarojen järkevää käyttöä ja ehkäisee jätteistä aiheutuvia haittoja [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Jatelainsaadanto [viitattu: 2.1.2020].

Kenton W., 2019. Logistics [verkkodokumentti]. Investopedia. Saatavissa: <https://www.investopedia.com/terms/l/logistics.asp> [viitattu 25.12.2019].

Kinnunen T., Pekuri A., Haapasalo H. & Kuvaja P., 2011. Business case analysis in new product development. *Global journal of management and business research*, 11 (2).

Kopp C., 2019. Business Model [verkkodokumentti]. Investopedia. Saatavissa: <https://www.investopedia.com/terms/b/businessmodel.asp> [viitattu 20.12.2019].

Koskinen J., 2020. Tapojärvi Oy:n kehitysjohtajan suullinen asiantuntijaesitys.

Laaksonen J., Salmenperä H., Stén S., Dahlbo H., Merilehto K. & Sahinmaa O., 2018. Kierrätyksestä kiertotalouteen: valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Suomen ympäristö 01/2018. Helsinki: Ympäristöministeriö. ISBN PDF 978-952-11-4774-6

Levinen R., 2015. Ympäristöministeriö [verkkodokumentti]. Päivitetty 2018. Saatavissa: <https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Jatteen> [viitattu 13.12.2019].

Lewandowski M., 2016. Designing the Business Models for Circular Economy –Towards the Conceptual Framework. Sustainability 8 (43), S. 1-28.

Lieder M. & Rashid A., 2015. Towards Circular Economy Implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. Journal of Cleaner Production, 115, S. 36-51.

Logistiikan maailma, 2020. Logistiikka [verkkodokumentti]. Logistiikan maailma. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/> [viitattu 2.1.2020].

Luste S., 2015. Kaatopaikoista raaka-ainereservejä Horisontti 2020 –rahoituksella [verkkolehti]. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. REaD, 8. Saatavissa: <https://read.xamk.fi/read-arkisto/2015/artikkeli/kaatopaikoista-raaka-ainereserveja-horisontti-2020-rahoituksella/index.html> [viitattu 16.12.2019].

Maholic J., 2019. How to Write a Business Case: Examples, Templates, and Checklists [verkkodokumentti]. Smartsheet. Saatavissa: <https://www.smartsheet.com/business-case-analysis-examples> [viitattu 17.12.2019].

Metsä Group, 2018. Uuden sukupolven Biotuotetehdas Äänekoskella [verkkodokumentti]. Espoo: Metsä Fibre Oy. Saatavissa: <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Tuotantolaitokset/Biotuotetehdas/Documents/Biotuotetehtaan%20esite%20FIN.pdf> [viitattu 27.2.2020].

Metsä Group, 2020. Sivuvirtoja seinissä ja puutarhassa [verkkodokumentti]. Espoo: Metsä Group. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/fi/Media/Pages/Case-Sivuvirtoja-seinissa-ja-puutarhassa.aspx> [viitattu 29.1.2020].

Moksu M., 2019. Kattohuovasta tehty bitumi olisi tehokasta kiertotaloutta – asfalttifirmat eivät vielä innostu [verkkolehti]. Yle uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10858805> [viitattu 23.1.2020].

Moore J., 1993. Predators and Prey: A New Ecology of Competition. Harvard Business Review. MAY-JUNE 1993.

Muniz L., Costa A., Steffani E., Zattera A., Hofsetz K., Bossardi K. & Valentini L., 2003. A study of paint sludge deactivation by pyrolysis reactions. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 20 (1), S. 63-68.

Orko I., Ritschkoff A.C., Lantto R., 2020. Kiertotalouden ekosysteemit. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö, 143 s. ISBN 978-952-327-500-3

Osterwalder A. & Pigneur Y., 2010. Business Model Generation. New Jersey: John Wiley & Sons, 282 s. ISBN 978-0470-87641-1

Pang B., Zhou Z. & Xu H., 2015. Utilization of carbonated and granulated steel slag aggregate in concrete. Construction and Building Materials, 84, S. 454-467.

Peppard J. & Rylander A., 2006. From Value Chain to Value Network: Insights for Mobile Operators. European Management Journal, 24 (2-3), S. 128-141.

Pesonen J., 2020. Kiertotalouskatalyytti maaliskasta/VESURI [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Pasi Rönkkö. Lähetetty 30.03.2020 klo. 14.07 (GMT +0200)

Porter M., 1985. Kilpailuetu – Miten ylivoimainen osaaminen luodaan ja säilytetään. 3. painos. Englanninkielisestä alkuteoksesta Competitive Advantage – Creating and Sustaining Superior Performance. Suomentanut Maarit Tillman. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. ISBN 951-35-3548-7

Ripanti E., Tjahjono B. & Fan I., 2015. Circular Economy in Reverse Logistics: Relationships and Potential Applications in Product Remanufacturing. Konferenssijulkaisu: Logistics Research Network.

Romar H., Lillebø A.H., Tynjälä P., Hu T., Holmen A., Blekkan E.A. & Lassi U., 2016. H₂-TPR, XPS and TEM Study of the Reduction of Ru and Re promoted Co/ γ -Al₂O₃, Co/TiO₂ and Co/SiC Catalysts. *Journal of Materials Science Research*, 5 (2), S. 33-43.

Rosli N., Rahman N. & Kadri A., 2018. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 358 012029.

Salihoglu G. & Salihoglu N., 2016. A review on paint sludge from automotive industries: Generation, caharacteristic and management. *Journal of Environmental Management*, 169, S. 223-235.

SER-kierrätys, 2012. Mitä kerätyille laitteille tapahtuu? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.serkierratys.fi/fi/kuluttajille/mitae-kerätyille-laitteille-tapahtuu> [viitattu 9.1.2019].

Sitra, 2019. Finnish road map to circular economy 2016-2025 [verkkodokumentti]. Sitra. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/en/projects/leading-the-cycle-finnish-road-map-to-a-circular-economy-2016-2025/> [viitattu 12.12.2019].

Sitra, 2016. Leading the cycle – Finnish road map to circular economy 2016-2025. Sitra.

Solakivi T., Ojala L., Laari S., Lorentz H., Kiisk, T., Töyli J., Malmsten J., Bask A., Rintala O., Paimander A. & Rintala H., 2018. *Logistiikkaselvitys 2018*. Turku: Turun kauppakorkeakoulu. Sarja E-2: 2018.

Speh T., 2009. Understanding Warehouse Costs and Risks. *Ackerman Warehousing Forum*, 24 (7).

Stahel W.R., 2016. The circular economy. *Nature*, 531, S. 435-438.

Stahel W.R., 2019. *The Circular Economy – A User's Guide*. Oxon & New York: Routledge, 102 s. ISBN 978-0-429-25920-3

Strategy train, 2009. Arvoketju [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://st.merig.eu/index.php?id=270&L=2> [viitattu 16.12.2019].

Suomen kuljetusopas, 2020. Kuljetus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.kuljetusopas.com/kuljetus/> [viitattu 3.1.2020].

Teece D., 2010. Business Models, Business Strategy and Innovation. Long Range Planning, 43, S. 172-194.

Teng B.S., 2003. Collaborative Advantage of Strategic Alliances: Value Creation in the Value Net. Journal of General Management, 29 (2), S. 1-22.

Tervonen J., Ristikartano J. & Sorvoja S., 2010. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvojen määrittäminen –Taustaraportti 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 33/2010. Helsinki: Liikennevirasto, 54 s. ISBN 978-952-255-039-2

Tesi, 2020. Lietteen poltto tuottaa energiaa ja hävittää haitta-aineet – Endeville 4,3 miljoonaa puhdistamoiden lieteratkaisun skaalaamiseen [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.teollisuussijoitus.fi/yhtio/ajankohtaista/uutisarkisto/lietteen-poltto-tuottaa-energiaa-ja-havittaa-haitta-aineet-endeville-4-3-miljoonaa-puhdistamoiden-lieteratkaisun-skaalaamiseen/> [viitattu 1.2.2020].

Thomson D. & Burke K., 1997. A Guide to The Use of Iron Blast Furnace Slag in Cement and Concrete.

TIEKE, 2005. Hinnoittelun ABC – Opas tietotuotteiden ja palveluiden hinnoitteluun [verkkodokumentti]. Helsinki: TIEKE Tietoyhteiskunnan kehittämiskeskus ry. Saatavissa: <http://www.kulmat.fi/images/tiedostot/Artikkelit/HinnoittelunABC-opas.pdf>

Tieteen termipankki, 2020. Katalyytti [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymparistotieteet:katalyytti> [viitattu 31.3.2020].

Tikkurila, 2018. Yritysvastuu [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://company.tikkurilagroup.com/fi/yritysvastuu/kestavat_ratkaisut/raaka-aineet [viitattu 22.1.2020].

Tilastokeskus, 2018. Jätetilasto 2016. Helsinki: Tilastokeskus.

Tilastokeskus, 2019. Käsitteet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/jate.html> [viitattu 16.12.2019].

Tiwary A., Sharma G. & Gupta P., 2014. Quantification of the reduced environmental impacts with use of co-processing in cement kilns in India. *Environmental Research, Engineering and Management*, 3 (69), S. 5-16.

University of Cambridge, 2019. Porter's value chain [verkkodokumentti]. Cambridge: University of Cambridge. Saatavissa: <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dstools/value-chain/> [viitattu 16.12.2019].

Valtioneuvosto, 2019. Osallistuva ja osaava Suomi – Sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Neuvottelutulos hallitusohjelmasta 3.6.2019. Helsinki: Valtioneuvosto, 193 s.

VTT, 2017. LIPASTO yksikköpäästöt -tietokanta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kavp76tie.htm> [viitattu 31.3.2020].

Weele A. van, 2010. *Purchasing and Supply Chain Management: analysis, strategy, planning, and practise*. Hampshire: Andover. ISBN 9781408068342 eBook

Wijkman A. & Skånberg K., 2015. *The Circular Economy and Benefits for Society*. Club of Rome.

Ying Z., 2014. Based on Gravity Method of Logistics Distribution Center Location Strategy Research. Konferenssijulkaisu. International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2014).

2008/98/EC, 2008. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY, annettu 19 päivänä marraskuuta 2008, jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta. Euroopan parlamentti ja neuvosto.

646/2011, 2011. Jätelaki. Ympäristöministeriö.

Liite 1. Maalisakkanäytteiden XRF-analyysien tulokset

Näyte	1	3	2	
Result type	Concentration, %	Concentration, %	Concentration, %	Keskiarvo
C (LECO)	31.1	42.2	23.0	32.100
Na2O	3.202	1.27	1.613	2.028
MgO	0.256	1.321	2.034	1.204
Al2O3	23.657	7.431	18.937	16.675
SiO2	6.548	5.343	9.853	7.248
P2O5	0.038	0.108	0.105	0.084
S	1.998	0.671	0.996	1.222
Cl	1.332	0.034	0.063	0.476
K2O	0.412	0.119	0.139	0.223
CaO	0.883	0.938	7.289	3.037
TiO2	10.832	18.851	21.938	17.207
Cr		0.008	0.01	0.009
MnO	0.005	0.005	0.008	0.006
FeO	0.629	1.111	0.614	0.785
Ni	0.004	0.01	0.01	0.008
Cu	0.77	0.005	0.003	0.259
Zn	0.172	0.004	0.006	0.061
Ga	0.003	0.001	0.001	0.002
Br	0.001	0.002		0.002
Sr	0.341	0.008	0.018	0.122
Zr		0.09	0.083	0.087
Nb	0.004	0.013	0.011	0.009
Mo	0.001			0.001
I		0.132	0.038	0.085
Ba	0.032	0.006	0.009	0.016
Hf	0.006			0.006
W		1.033		1.033
Tl		0.003		0.003
Muut	17.774	19.283	13.222	16.760

Liite 2. Kuljetuskustannusten laskennan perusteet

KA kustannukset			Vakiot		
Huollot	120	snt/km	Polttoaine	1,10	€/l
Renkaat	130	snt/km	Kulutus täytenä	60,00	L/100 km
Polttoaine	59	snt/km	Kulutus tyhjänä	40,00	L/100 km
Pääoma	17	snt/km	Täytenä ajo	0,70	Kerroin
Yhteensä	3,26	€/km	Tyhjänä ajo	0,30	Kerroin
			Polttoaine kust.	59,40	€/100 km
Kustannukset yhteensä			Pääoma ym./h	10,00	€/h
Kalusto	3,26	€/km	Ajosuorite/h	60,00	km
Palkat	0,43	€/km	POK/km	0,17	€/km
Yhteensä	3,69	€/km	Palkka/kulj.	2524,00	€/kk
			Palkan sivukulut	1,70	Kerroin
			Kust./kuljettaja/kk	4290,80	€/kk
			Kust./kuljettaja/h	25,54	€/h
			Kust./kuljett./km	0,43	€/km
Yhdistelmän hyötykuorma			40 t		

Kysymykset maalaustoimintaa harjoittaville yrityksille

Yritys:

Toimiala:

Koko (henkilöstö, liikevaihto, tms.):

Maalaustoiminnan osuus:

Tehtaan (maalaamon) toiminta-aika (1/2/3/4/5-vuoro tai joku muu?):

- Kuinka paljon maalisakkaa syntyy esim. viikoittain? (Harkkoja, kiloja, tms.)
- Kuinka usein maalisakkaa täytyy hävittää/toimittaa jätteenkäsittelylaitokselle? Entä kuinka kauan maalisakkaa voitaisiin varastoida yrityksen tiloissa?
- Mihin maalisakka viedään? Tilataanko maalisakalle kuljetus joka kerta erikseen, vai onko tähän liittyen olemassa esim. sopimusnoutoja?
- Millaisella alustalla maalisakkaa käsitellään kuljetusten yhteydessä?
- Millaiset kustannukset maalisakan hävittämisestä syntyy esim. kuukausittain? (Sis. Esim. sakkauttaminen, henkilöstön työ, kuljetukset, hävittämismaksut, tms.)
- Olisiko maalisakan/lietteen jatkokäsittely yrityksessä mahdollista, esimerkiksi kierrätysmaaliksi? (Riittävät volyymit ja saavutettava hyöty)
- Kuinka monenlaista maalia yrityksessä käytetään? Vaihteleeeko esim. maalisakan väri ja muut ulkoiset ominaisuudet maalien mukaan?